






## Konseptisuunnittelu traktorin varustelusta kelluvaksi luonnonjäillä työskentelyä varten

Kirjoittajat: Jukka Junttila, Petteri Kokkonen, Ilkka Perälä, Jussi Martio

Luottamuksellisuus: Julkinen

<b>Raportin nimi</b>	
Konseptisuunnittelu traktorin varustelusta kelluvaksi latujen ylläpitoa varten	
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b>	<b>Asiakkaan viite</b>
Järvenpään kaupunki (Tony Konkola) Tuusulan kunta (Risto Kanerva) Helsingin kaupunki (Petri Angelvuo) Espoon kaupunki (Tapio Taskinen)	
<b>Projektin nimi</b>	<b>Projektin numero/lyhytnimi</b>
Työ- ja asiakasturvallisuus luonnon jääolosuhteissa	116943/SafeOnIce
<b>Raportin laatija(t)</b>	<b>Sivujen/liitesivujen lukumäärä</b>
Jukka Junntila, Petteri Kokkonen, Ilkka Perälä, Jussi Martio	34 s.
<b>Avainsanat</b>	<b>Raportin numero</b>
Kelluva työkone, kelluva ajoneuvo, konseptisuunnittelu, kevyt-rakenne	VTT-R-00641-19
<b>Tiivistelmä</b>	
<p>Työ- ja asiakasturvallisuus luonnon jääolosuhteissa -tutkimushanke keskittyy luonnonjäille tehtävien hiihtolatujen, luisteluratojen ja kävelyreittien käyttäjien asiakasturvallisuuden sekä näiden suorituspaikkojen koneellisen kunnossapidon työturvallisuuden varmistamiseen. Hankeidea on lähtöisin osallistuvien kuntien eli Järvenpään, Tuusulan, Espoon ja Helsingin liikuntatoimien tarpeista parantaa ensisijaisesti työntekijöiden työturvallisuutta. Tässä raportissa esitetään hankkeen työpaketissa 3 ”Kunnossapitokoneiden turvaratkaisut” tehty traktorin kellukkeiden konseptisuunnittelu.</p> <p>Konseptisuunnittelun tarkastelun kohteeksi valittiin Helsingin kaupungin liikuntaviraston käytössä oleva Kubota L5740-mallinen kiinteistötraktori. Tarvittava kellukkeiden tilavuus selvitettiin työkoneen punnituksella. Punnitustulosten avulla määritettiin myös työkoneen painopisteen sijainti pituus- ja leveys suunnissa kellukkeiden sijoittelua varten. Kellukkeiden sijoittelusta tehtiin alustava suunnitelma, jonka toimivuutta arvioitiin vakavuuslaskennalla. Jatkotyöksi jäävä kellukkeiden sijoittelun lopullinen suunnittelu vaatii käyttöolosuhteiden tarkempaa arviointia ja erilaisten käyttö- ja onnettomuustilanteiden simulointia vakavuuslaskennalla.</p> <p>Kellukkeiden tukirakenteet ovat kuormaa kantavia rakenteita, joiden suunnittelussa tulee huomioida väsymiskestävyys ja äärikuormat. Mitoituskuormia suunnittelua varten ei ole saatavissa standardeista tai valmiista ohjeista, joten ne täytyy simuloida tai arvioida. Tällä tavoin suunnitellulle rakenteelle tulee suorittaa kenttämittaus, jonka avulla se validoidaan. Kellukkeiden tukirakenteiden mahdollisia toteutusvaihtoehtoja on esitetty tässä raportissa, mutta lopullinen suunnitelma, toteutus ja testaus jäävät jatkotöiksi.</p> <p>Ehdotus kellukeratkaisun prototyypin suunnittelusta, valmistuksesta, sekä toimivuuden ja kestävyuden varmistamisesta on esitetty raportin lopussa. Kuntien toiveena oli, että selvitetään myös mahdollisia tahoja ja yrityksiä prototyypin suunnitteluun ja valmistukseen.</p>	
<b>Luottamuksellisuus</b>	Julkinen
Espoo 25.6.2019	
<b>Laatija</b>	<b>Tarkastaja</b>
	
Jukka Junntila	Pekka Rahkola
<b>Tutkija</b>	<b>Erikoistutkija</b>
<b>Hyväksyjä</b>	
	
Eila Lehmus	
	<b>Tutkimustiimin päällikkö</b>
<b>VTT:n yhteystiedot</b>	
PL 1000, 02044 VTT	
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b>	
Järvenpään kaupunki (Tony Konkola), Tuusulan kunta (Risto Kanerva), Helsingin kaupunki (Petri Angelvuo), Espoon kaupunki (Tapio Taskinen)	
VTT Arkisto	
<p>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>	

## Sisällysluettelo

---

1. Johdanto.....	3
1.1 Tavoite.....	3
1.2 Työn toteutus.....	3
1.3 Rajaukset .....	4
2. Traktorin punnitus ja tarvittava kellukkeiden syrjäytystilavuus .....	5
3. Kellukevaihtoehtojen kartoitus .....	6
3.1 Kellukkeiden sijoittelun ideat ideointityöpajasta.....	7
3.2 Itsestään täyttyvät kellukkeet .....	8
3.3 Kiinteät kellukkeet.....	8
3.3.1 Säiliö- ja laiturivalmistajat.....	8
3.3.2 Lasikuitupäällysteinen, laminoitu solumuovi (Finnfoam).....	8
3.4 Yhteenveto ratkaisuvaihtoehdoista kellukkeiden toteutukseen.....	8
4. Kellukkeiden tukirakenteiden toteutus kevytrakenteina .....	9
4.1 Reunaehdoja kellukkeiden ja varusteiden sijoitteluun Kubota-traktorissa.....	10
4.2 Topologian optimointia suunnittelun tueksi .....	22
4.3 Kevytrakenteen toteutus valuna ja levyrakenteena .....	28
4.4 3D-tulostettava hiekkamuotti orgaanisen muodon valua varten .....	28
5. Ehdotus ratkaisuvaihtoehdoista .....	30
6. Kelluvuustarkastelu.....	31
7. Ehdotus prototyypin suunnittelusta, valmistuksesta, sekä toimivuuden ja kestävyys- varmistamisesta.....	32
Lähdeviitteet.....	34

## 1. Johdanto

---

Työ- ja asiakasturvallisuus luonnon jääolosuhteissa -tutkimushanke keskittyy luonnonjäille tehtävien hiihtolatujen, luisteluratojen ja kävelyreittien käyttäjien asiakasturvallisuuden, sekä näiden suorituspaikkojen koneellisen kunnossapidon työturvallisuuden varmistamiseen. Hankeidea on lähtöisin osallistuvien kuntien, Järvenpää, Tuusula, Espoo ja Helsinki, liikuntatoimien tarpeista parantaa ensisijaisesti työntekijöiden työturvallisuutta. Hanketta rahoittavat osallistuvat kunnat, sekä opetus- ja kulttuuriministeriö.

Tässä raportissa esitetään hankkeen työpaketin ”Kunnossapitokoneiden turvaratkaisut” (TP3) tulokset. Työpaketin tavoitteena oli suunnitella konseptitason ratkaisu tai ratkaisuja latujen kunnossapidossa käytettävien työkoneiden varusteluun kelluviksi jäihin vajoamisesta mahdollisesti aiheutuvien henkilövahinkojen välttämiseksi. Luonnonjäillä työskennellessä työkoneen kuljettajan työturvallisuus on uhattuna, jos jää pettää. Kuljettajan kannalta ongelmallista on koneen nopea vajoaminen jään läpi, jolloin pelastautuminen koneesta esimerkiksi ovien kautta voi olla mahdotonta.

Työkoneiden jäihin vajoamia luonnonjäillä sijaitsevien latujen kunnossapitotöiden yhteydessä on tapahtunut kaikissa hankkeeseen osallistuvissa kunnissa.

### 1.1 Tavoite

Työn tavoitteena on suunnitella luonnonjäille tehtävien hiihtolatujen ja luisteluratojen kunnossapitokoneisiin asennettavat turvalaitteet, jotka takaavat kuljettajan työturvallisuuden järven ja meren jäällä työskennellessä. Turvalaitteiden avulla kone ei uppoa eikä kaadu jään pettäessä, jolloin taataan kuljettajan työturvallisuus.

Hankkeen alkuperäisenä tavoitteena oli kehittää toteuttamis- ja kaupallistamiskelpoiset ratkaisut kunnossapitokoneisiin asennettavista irrotettavista kellukkeista tai muista turvalaiteratkaisuista, jotka takaavat työkoneen kellumisen ja pystyssä pysymisen jään pettäessä. Hanke ei saanut suunniteltua rahoitusta, ja tavoitteeksi asetettiin konseptin kehittäminen.

Kehitettyjä ratkaisuja voidaan muuntaa ja soveltaa erilaisiin luonnonjäillä kunnossapitotöissä käytettäviin koneisiin.

### 1.2 Työn toteutus

Tarvittava kellukkeiden tilavuus selvitettiin työkoneen punnituksella. Punnitustulosten avulla määritettiin myös työkoneen painopisteen sijainti pituus- ja leveys suunnissa kellukkeiden sijoittelua varten. Kellukkeille käytävissä oleva tila kunnossapitolaitteen ympärillä rajoittaa kellukkeiden sijoittelua, kokoa ja muotoa.

Kellukkeiden sijoittelua suunnitellessa on otettava huomioon, että vain kellukkeiden veden pinnan alle jäävä osuus on tehollinen nostetta tuottavana syrjäytystilavuutena. Toisin sanoen kellukkeiden sijoittelu korkeussuunnassa määrittää työkoneen kellumissyvyyden. Kellukkeiden sijoittelu työkoneen ympärille vaikuttaa myös työkoneen asentoon kelluntatilanteessa. Kellumisasennon ja -syvyyden tulee mahdollistaa turvallinen poistuminen työkoneesta. Kellumisasentoa suunnitellessa tulee ottaa huomioon myös työkoneen oven avautumissuunta siten, että ovi avautuu painovoiman avustamana. Kallistuskulman ei tule kuitenkaan olla niin suuri, että työkoneesta poistuminen hankaloituu merkittävästi.

Kellukkeiden sijoittelusta tehtiin alustava suunnitelma, jossa huomioitiin eri reunaehdot ja arvioitiin kellukkeiden yhteenlasketun syrjäytystilavuuden riittävyys karkeasti työkoneen ja

lisävarusteiden painon perusteella. Kellukkeiden sijoittelun toimivuutta arvioitiin vakavuuslaskennalla.

Kellukkeiden sijoittelun lopullinen suunnittelu vaatii käyttöolosuhteiden tarkempaa arviointia ja erilaisten käyttö- ja onnettomuustilanteiden simulointia vakavuuslaskennalla. Jäihin vajotessaan työkone on todennäköisesti liikkeessä. Työkoneen jäihin vajoaminen sekä jään murtuminen ovat tapahtumina luonteeltaan dynaamisia, koska jään murtuminen kaikkien renkaiden alta ei todennäköisesti tapahdu samanaikaisesti. Jään murtumistapa vaikuttaa oleellisesti työkoneen asentoon ja liikkeeseen sen osuessa veden pintaan. Kellukkeiden sijoittelulla tulee varmistaa halutun kellumisasennon lisäksi myös työkoneen vakavuus sen vajotessa jäihin riippumatta sen asennosta ja liikkeestä jäihin vajoamisen alkaessa. Kellukkeiden sijoittelun lopullinen suunnittelu jää jatkotarkasteluksi.

Kellukkeiden tukirakenteet ovat kuormaa kantavia rakenteita, joiden mitoituksessa täytyy huomioida väsymiskestävyys ja äärikuormat. Mitoituskuormia ei ollut saatavissa standardeista tai valmiista ohjeista. Tällaisessa tilanteessa mitoituskuormat täytyy simuloida tai arvioida. Arvioiduilla tai simuloituilla mitoituskuormilla suunniteltavalle rakenteelle tehdään yleensä kenttämittaus, jonka perusteella arvioidaan rakenteen väsymiskestävyuden ja äärijuuden riittävyys käyttöön. Kellukevarustelu täytyy luultavasti myös hyväksyttävä viranomaistaholla.

Kellukkeiden noste saadaan hyödynnettyä tehokkaimmin, kun kellukkeiden tukirakenteet ovat mahdollisimman kevyet, jolloin tukirakenteet kasvattavat kellutettavaa painoa mahdollisimman vähän. Tukirakenteiden suunnittelussa käytettiin kevytrakennesuunnittelun periaatteita ja menetelmiä; topologian optimoinnilla haettiin materiaalijakaumia, joilla voidaan saavuttaa kevyet rakenteet ja hitsien sijoittelussa sovellettiin valuja ja särmättyjä osia, millä hitsit voidaan sijoitella kauas geometrisista epäjatkuvuuksista johtuvista jännityskeskittymistä. Hitsausliitokset heikentävät rakenteiden väsymislujuutta merkittävästi hitsaamattomaan perusaineeseen verrattuna.

### 1.3 Rajaukset

Hankkeessa mukana olevilla kunnilla on käytössään latujen kunnossapitoa varten moottorikelkkoja, mönkijöitä, kiinteistötraktoreita ja latukoneita sekä erilaisia niihin liitettäviä työkaluja. Työssä keskityttiin yhteen ajoneuvotyyppeihin. Konseptisuunnittelun tarkastelun kohteeksi valittiin Helsingin kaupungin liikuntaviraston käytössä oleva Kubota L5740-mallinen kiinteistötraktori ja latujen kunnossapidon yhteydessä käytämät työkalut.

Moottorikelkkojen tai mönkijöiden varustaminen kelluviksi todettiin tarpeettomaksi niiden hytittömyyden takia. Hytitön ajoneuvo mahdollistaa kuljettajan pelastautumisen moottorikelkan tai mönkijän upotessa esimerkiksi kelluntapuvun avulla. Hankkeessa mukana olevat tahot käyttävät latukoneita harvoin tai ei ollenkaan luonnonjälle latuja tehtäessä.

Kellukkeiden tukirakenteiden suunnittelussa on huomioitava kiinnityspisteiden kuormankantokyky traktorin rungon ja runkoon liitettyjen rakenteiden puolella. Tarkastelun kohteeksi valitusta kiinteistötraktorista ei ollut saatavilla valmistuspiirustuksia, yksityiskohtaisia mittoja eikä lujuuslaskelmia kellukkeiden suunnittelun lähtötiedoiksi. Traktorin päämitat mitattiin rullamitalla ja siitä tehtiin karkea CAD-malli, jonka ympärille kellukkeet suunniteltiin.

Konseptisuunnittelussa ei tehty riskianalyysiä tai pelastautumissuunnitelmaa. Erilaisia skenaarioita arvioitiin keskusteluissa osana konseptisuunnittelua.

## 2. Traktorin punnitus ja tarvittava kellukkeiden syrjäytystilavuus

Konseptisuunnittelun tarkastelun kohteeksi valittiin Helsingin kaupungin liikuntaviraston käytössä oleva Kubota L5740-mallinen kiinteistötraktori. Taulukossa 1 on esitetty tarkasteltavan traktorimallin massa ja mittoihin liittyviä teknisiä tietoja [3].

Taulukko 1. Tarkasteltavan traktorimallin teknisiä tietoja.

Suure	Arvo
Polttoainesäiliö [l]	54
Pituus (ilman vetovarsia) [mm]	3245
Leveys (pienin raideväli) [mm]	1470
Korkeus [mm]	2375
Akseliväli [mm]	1915
Maavara [mm]	400
Raideväli edessä [mm]	1135
	1125
Raidevälit takana [mm]	1225
	1325
Paino [kg]	1920

Tarkasteltavaan traktoriin on asennettu lisävarusteita, minkä takia sen massa on todennäköisesti käyttöohjeessa ilmoitettua suurempi. Lisäksi traktoriin asennetaan työkaluja kunnossapitotoimenpiteitä varten, jotka kasvattavat traktorin massaa huomattavasti. Rullamitalla tehtyjen mittausten perusteella tarkasteltavan traktorin raideleveys takana on 1225 mm.

Traktorin punnitus suoritettiin Helsingin kaupungin liikuntatoimen varikolla Kontulassa. Punnituksessa käytettiin kahta vaakaa (Valueweigh VWAM-20 Axlemate), joilla kullakin mitattiin yhteen renkaaseen kohdistuva traktorin massasta johtuva painovoima kerrallaan. Tulosten perusteella saatiin määritettyä traktorin painojakauma rengaskohtaisesti ja sen avulla massakeskipisteen sijainti sekä traktorin pituus- että leveys suunnissa. Traktorin massakeskipisteen sijainti korkeussuunnassa ei ole tiedossa.

Traktori punnittiin ilman kuljettajaa seuraavilla kolmella varustuksella:

1. Pelkkä traktori
2. Traktori ja harja (traktorin takapuolella)
3. Traktori, harja ja aura (traktorin etupuolella).

Taulukossa 2 on esitetty punnitustulokset rengas- ja akselikohtaisesti sekä traktorin kokonaisuudessa edellä mainituille kolmelle kokoonpanolle.

Taulukko 2. Kokoonpanoille mitatut massat [kg].

	Pelkkä traktori	Traktori ja harja	Traktori, harja ja aura
Oikea etupyörä	575	495	755
Vasen etupyörä	580	505	755
Oikea takapyörä	465	665	560
Vasen takapyörä	465	665	465
Etuakseli	1155	1000	1510
Taka-akseli	930	1330	1025
<b>Yhteensä</b>	<b>2085</b>	<b>2330</b>	<b>2535</b>

Taulukossa 3 on esitetty punnitustulosten perusteella määritetyt massakeskipisteiden sijainnit traktorin pituus- ja leveyssuunnissa edellä mainituille kolmelle kokoonpanolle. Origo on sijoitettu traktorin leveyssuunnassa traktorin keskilinjalle siten että positiivinen suunta on traktorin menosuuntaan katsottuna oikealla. Origo on sijoitettu traktorin pituussuunnassa akselien puoliväliin siten että positiivinen suunta on menosuunta.

Taulukko 3. Kokoonpanoille punnitustulosten perusteella määritetyt massakeskipisteiden etäisyydet [mm] origosta pituus- ja leveyssuunnissa.

Massakeskipiste	Pelkkä traktori	Traktori ja harja	Traktori, harja ja aura
Pituussuunnassa	+103	-136	+183
Leveyssuunnassa	-1	-2	+23

Punnitustulokset sekä kuljettajan ja kellukkeiden tuoma lisämassa 10 % varmuuskertoimella huomioiden tarvittava kokonaissyrtäytystilavuus on noin 3 m<sup>3</sup>. Pelkästään traktorin renkaiden syrjäyttämä tilavuus on noin 1 m<sup>3</sup>, jos otetaan huomioon myös vanteiden sisäosat, jotka on mahdollista täyttää esimerkiksi solumuovilla tai muulla vastaavalla kevyellä aineella. Tarvittava kellukkeiden syrjäytystilavuus on siten noin 2 m<sup>3</sup>.

Kellukkeiden sijoittelussa tulee ottaa huomioon takarenkaiden huomattavasti suurempi tilavuus eturenkaiisiin verrattuna, mikä aiheuttaa suuremman nosteen traktorin massakeskipisteen takapuolelle. Tästä syystä pääosa kellukkeista tulee sijoittaa traktorin massakeskipisteen etupuolelle, jotta traktori olisi vakaa kellutustilanteessa ja poistuminen traktorista olisi mahdollista.

### 3. Kellukevaihtoehtojen kartoitus

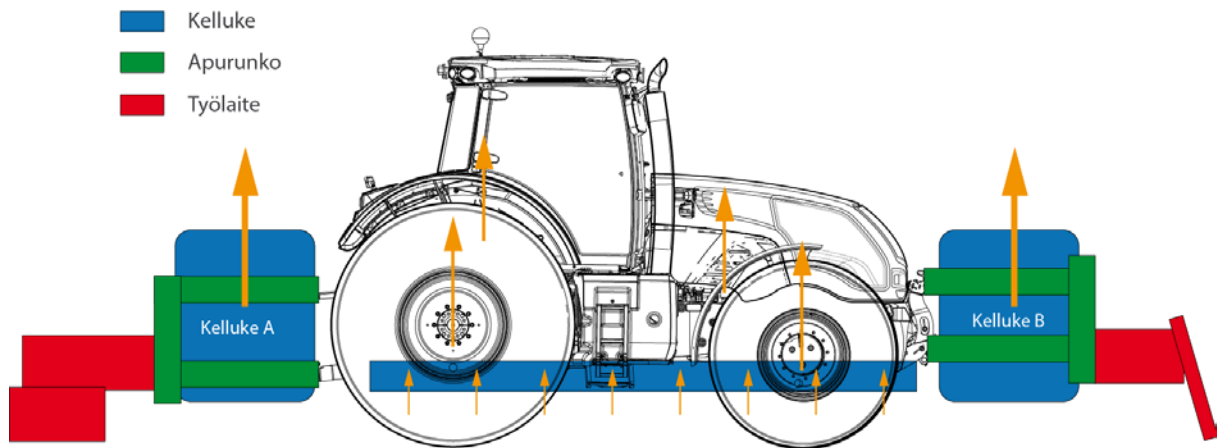
Hankkeen alussa pidettiin ideointityöpaja, jossa yhdessä kaupunkien edustajien ja koneiden käyttäjien kanssa haettiin ideoita koneilla tehtävien latujen kunnossapitotoimenpiteiden toteuttamiseksi. Tavoitteena on mennä jäälle niin järeällä/painavalla kalustolla kuin vain jää kestää ja varmistaa samanaikaisesti työntekijöiden turvallisuus. Jäihin putoamisriskiin ja työturvallisuuteen liittyvät sää- ja jääolosuhteiden vaihtelu, tieto jään kantavuudesta ja railoista sekä muiden jäällä liikkuvien havainnointi.

Kellukevaihtoehtoina tarkasteltiin kiinteitä ja itsestään täyttyviä kellukkeita. Itsestään täyttyvillä kellukkeilla tarkoitetaan tässä tapauksessa paukkuliivimäistä ratkaisua, jossa kellukkeet täyttyvät vasta työkoneen jouduttua veden varaan.



### 3.1 Kellukkeiden sijoittelun ideat ideointityöpajasta

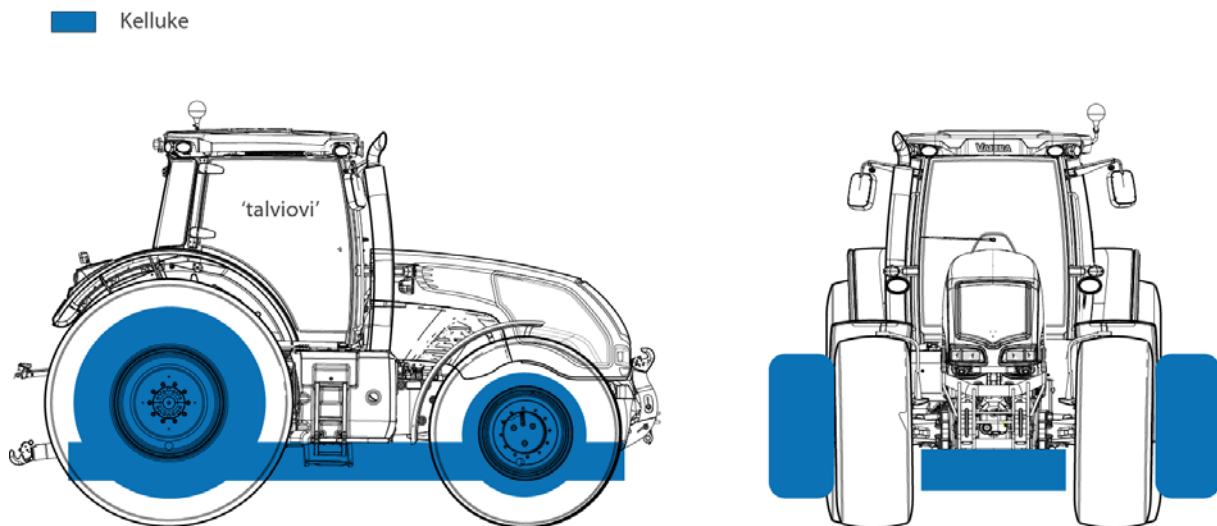
Kellukkeiden suunnittelun lähtökohtana oli projektin alussa pidetyssä ideointityöpajassa ideoitu ratkaisu, jossa kellukkeet sijoitetaan työkalujen ja traktorin väliin sijoitettaviin apurakenteisiin, sekä traktorin pyörien napoihin ja traktorin alle. Luonnokset ideoista on esitetty seuraavissa kuvissa. Lisäksi kellukkeita voidaan liittää suoraan traktorin runkoon olemassa oleviin kiinnityksiin, mutta tällöin työkalujen ja apulaitteiden kiinnitykset täytyy lisätä kellukkeiden rakenteisiin, mitoittaa liitokset ja varmistaa kokonaisuuden lujuus.



Pääkellukkeiden A ja B nostovoimat ovat kaukana massakeskiöstä, millä saadaan vakautta kellumistilanteessa.

Pyöräkellukkeet tuovat vakautta toisessa suunnassa.

*Kuva 1. Luonnos kellukkeiden sijoittelusta työkalujen ja traktorin väliin sijoitettaviin apurakenteisiin, alkuvaiheen ideointityöpajassa syntyneiden ideoiden pohjalta.*



*Kuva 2. Luonnos kellukkeiden sijoittelusta traktorin pyörien napoihin ja traktorin alle, alkuvaiheen ideointityöpajassa syntyneiden ideoiden pohjalta.*



## 3.2 Itsestään täytyvät kellukkeet

Itsestään täytyvän kellukkeen selkeä hyöty verrattuna kiinteisiin kellukkeisiin on sen huomattavasti pienempi koko tyhjänä. Pieni koko tarjoaa mahdollisuuden kellukkeiden optimaaliseen sijoitteluun kelluttavuuden ja vakauden kannalta sekä pienen tai olemattoman haitan työkoneen käytölle tyhjän kellukkeen tarvitseman pienen tilavarauksen takia.

Isoja (yli 1 m<sup>3</sup>) itsestään täytyviä kellukkeita käytetään esimerkiksi ylösalaisin kääntyneiden veneiden kääntämiseen takaisin pystyasentoon (englanninkielinen termi ”self-righting bag”). Itsestään täytyvien kellukkeiden huonona puolena on niiden hidas täyttymisaika. Kellukkeen täytyminen voi kestää yli 10 sekuntia. Tässä ajassa työkone ehtisi todennäköisesti vajota kokonaan pinnan alle ennen kellukkeiden täyttymistä ja tarvittavan nostevoiman saavuttamista. [4]

## 3.3 Kiinteät kellukkeet

Kiinteiden kellukkeiden avulla voidaan estää työkoneen vajoaminen kokonaan pinnan alle. Haittapuolena kiinteillä kellukkeilla on niiden suuri tilantarve joka mahdollisesti haittaisi koneen käytettävyyttä ja rajoittaisi kuljettajan näkyvyyttä.

### 3.3.1 Säiliö- ja laiturivalmistajat

Kellukkeina käytettäviä muovisäiliöitä kartoitettiin aluksi laiturivalmistajien tuoteluetteloista ja laiturivalmistajien kanssa keskustelemalla. Työn edetessä keskusteltiin Cipax Oy:n asiantuntijoiden kanssa Helsingin kaupungin liikuntatoimen varikolla erilaisista muovirakenteilla mahdollisista kellukeratkaisuista.

### 3.3.2 Lasikuitupäällysteinen, laminoitu solumuovi (Finnfoam)

Helsingin kaupungin liikuntatoimen varikolla käydyissä keskusteluissa nousi esille laminoitun solumuovin käyttäminen kellukkeiden valmistuksessa. Eristelevyä kuten esim. Finnfoamia voi leikata ja sahata, jolloin kellukkeet voidaan muotoilla varikolla ajoneuvoon sovittamalla ja mittaamalla. Lasikuitupäällysteinen solumuovi kestää vettä, mekaanista kuormaa ja kellukkeisiin voi myös liittää metallisia tuki- ja liitosrakenteita laminoinnin yhteydessä.

## 3.4 Yhteenveto ratkaisuvaihtoehdoista kellukkeiden toteutukseen

Itsestään täytyviä kellukkeita käytetään ylösalaisin kääntyneiden veneiden suoristamiseen tai uponneiden esineiden nostamiseen. Niiden käyttöä ajoneuvon turvalaitteena rajoittaa niiden pitkäkö täyttymisaika, joten ne eivät sovellu suoraan ajoneuvon turvalaitteiksi. Itsestään täytyviä kellukkeita voitaisiin tarpeen vaatiessa käyttää kiinteiden kellukkeiden lisäksi esimerkiksi halutun kellumisasennon tai korkeuden saavuttamiseksi.

Muovisäiliöitä voidaan valmistaa levyistä liittämällä levyt toisiinsa (muovin) sulahitsauksella. Lisäksi sulahitsaus mahdollistaa muovista tehtyjen kohtuullisia kuormia kantavien kiinnitysten liittämisen muovisäiliöihin. Muovisäiliöiden ympäri voidaan kiinnittää teräspannat, joilla voidaan kantaa suuriakin kuormia ja kiinnittää säiliöt esim. metallisiin liitoskappaleisiin, jotka liitetään ajoneuvoon. Muovisäiliöiden seinämänpaksuus on tyypillisesti luokkaa 10 mm ja kellukkeina käytettävät muovisäiliöt täytetään tyypillisesti solumuovilla vuodoista johtuvan vedellä täyttymisen estämiseksi.

Muoviputkia voidaan tulpata sulahitsauksella. Tulpattuja muoviputkia voidaan latoa kuormaa kantaviin kehikoihin ja liittää kehikot ajoneuvoon liitoskappaleilla.

Paloletkua on käytetty perinteisesti pneumaattisena toimilaitteena, kun tarvitaan kustannustehokas ratkaisu lyhyen iskun tuottamiseen suurella pituudella. Paloletkua voidaan mahdollisesti käyttää kellukkeenakin. Paloletkusta koottu, ilmalla (tai muulla kaasulla) täytetty kelluke voidaan pakata kuormaa kantaviin kehikoihin ja liittää kehikot ajoneuvoon liitoskappaleilla.

Kellukkeet voidaan periaatteessa myös hitsata ruostumattomasta teräksestä tai alumiinista, jolloin myös tukirakenteet voidaan liittää kellukkeisiin hitsaamalla. Haittapuolena metallista valmistetuilla rakenteilla on niiden suuri massa verrattuna muovisiin.

## Kellukkeet

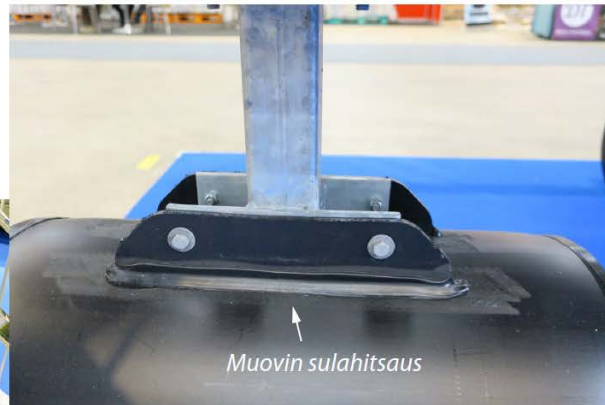
### Vaihtoehtoja

#### Muoviset säiliöt

- hitsatut muovisäiliöt
- muottiin valetut säiliöt
- putket -> sulahitsauksella säiliöiksi



Venemessuilta 2019



Laminoitu styrox / finnfoam

Paukkuliivit ja nostopussit

Hitsattu alumiini / rosteri

Paloletku

<http://www.airboats.fi/>



<http://www.jwautomarine.co.uk/>

VTT 14.3.2019

Kuva 3. Ratkaisuvaihtoehtoja kellukkeiden toteutukseen.

## 4. Kellukkeiden tukirakenteiden toteutus kevytrakenteina

Seuraavaan listaan on koottu kevytrakennesuunnittelun periaatteita, joita voidaan käyttää kellukkeiden tukirakenteiden suunnittelussa. Kevytrakennesuunnittelulla kellukkeiden noste saadaan hyödynnettyä tehokkaasti, koska tukirakenteiden paino saadaan pieneksi.

- Materiaalijakauman optimointi suunnittelun lähtökohdaksi topologian optimoinnilla.
  - Topologian optimoinnilla saatavaa materiaalijakaumaa ei voida valmistaa suoraan, mutta sillä saadaan hyvä arvio mihin kantavan rakenteen materiaali kannattaa sijoitella, jotta esim. rakenteen jäykkyys suhteessa massaansa on mahdollisimman suuri annetuilla reunaehdoilla; kuormat, tukipisteet ja käytettävissä oleva tila.
- Rasitetuimpien rakenneosien toteutus valuina.

- Valukappaleilla saadaan muotoilun, jouhevien liittymien ja materiaalin väsymislujuuden yhdistelmänä erittäin suuri kuormankantokyky ja komponentin väsymislujuus.
- Valujen suunnittelussa voidaan hyödyntää topologian optimointia ja 3D-tulostettavia muotteja.
- Kellukkeiden tukirakenteet ovat ulokemaisia rakenteita, jotka ovat tuettuja vain toiselta puolelta, jolloin kuormitus aiheuttaa taivutusrasituksia lähelle tukia oleville rakenneosille. Valuja käytetään usein ns. liittokappaleiden valmistukseen. Kauempana tukipisteistä on luontevaa käyttää särmätyjä levyosia.
- Valut voidaan liittää muihin rakenteisiin hitsaamalla tai ruuviliitoksilla. Valujen muotoilu mahdollistaa hitsien sijoittelun kauas rakenteellisista epäjatkuvuuksista, jolloin valukomponenteilla voidaan saavuttaa hyvä väsymiskestävyys.
- Hitsien sijoittelu kauas rakenteellisista epäjatkuvuuksista (esim. nurkista) ja niistä aiheutuvista jännityskeskittymistä.
  - Hyödynnetään särmäystä levyrakenteissa, sekä valuja suurimpien kuormien ja levyrakenteina vaikeasti toteutettavien rakenneosien toteutuksessa.

#### 4.1 Reunaehdot kellukkeiden ja varusteiden sijoitteluun Kubota-traktorissa

Käytettävissä oleva tila Kubota-traktorissa varusteineen ja varustelun reunaehdot selvitettiin yhdessä Helsingin liikuntatoimen työntekijöiden ja Cipax Oy:n edustajien kanssa Kontulan varikolla.

Varikolla käydyissä keskusteluissa todettiin, että Kubota-traktorin etukuormaajan hydraulikka menee uivaan asentoon, jos ohjaamon vipu työntyy eteen. Tämän vuoksi kellukkeita ei voida kiinnittää etukuormaajaan liittyviin laitteisiin. Lisäksi keskusteluissa todettiin, että etukuormaajaan liitettävä lisärakenne heikentäisi traktorin ohjattavuutta merkittävästi.

Etukuormaajan ja auran väliin liitettävän rakenteen todettiin Helsingin liikuntatoimen varikolla käydyissä keskusteluissa heikentävän Kubota-traktorin ohjattavuutta merkittävästi (kuva 4).



Kuva 4. Etukuormaajan ja auran väliin liitettävän rakenteen todettiin heikentävän ohjattavuutta merkittävästi.

Kuvassa 5 on esitetty yleiskuva Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin mahdollisesta kellukkeiden sijoittelusta.

*Etukuormaajan hydraulikka menee ohjaamon vivusta uivaan asentoon, jos vipua painaa hätätilanteessa esim. polvella, jolloin etukuormaajaa tai auraa ei voi käyttää kellukkeiden kiinnitykseen.*

*Latujen teossa käytetään toista auraa kuin tässä kuvassa on.*



Kuva 5. Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin mahdollinen kellukkeiden sijoittelu. Etukellukkeet on mahdollista kiinnittää etukuormaajan kiinnityksiin.



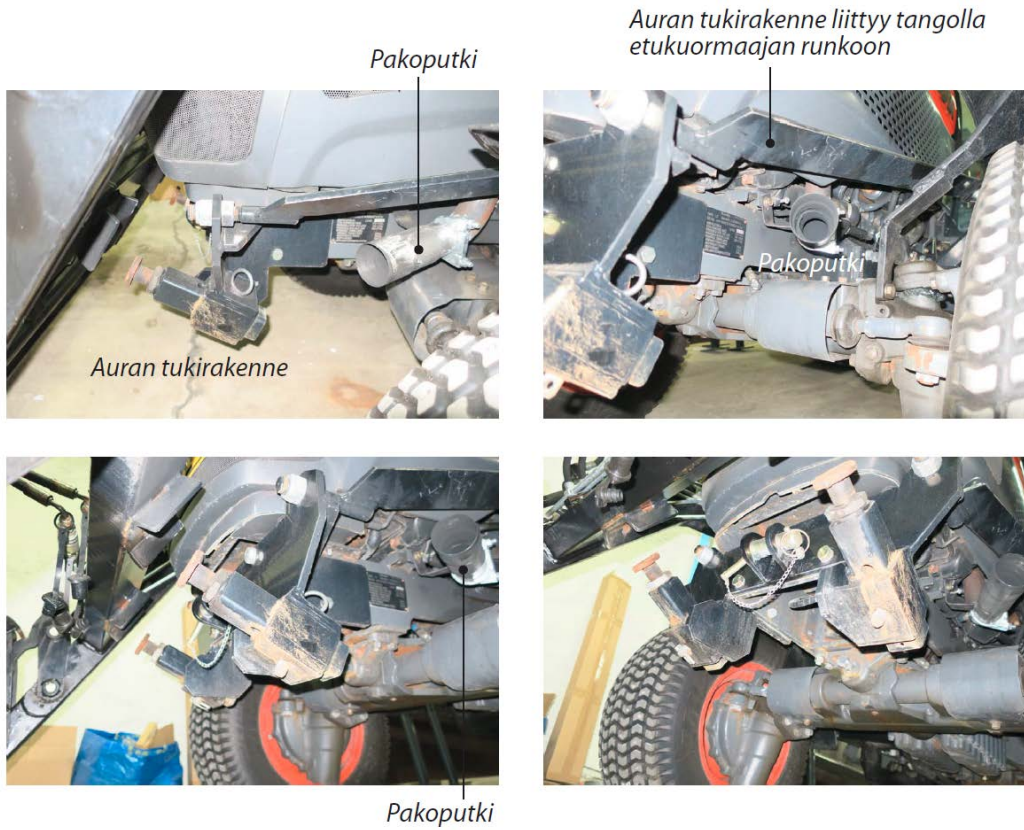
Takakellukkeet voidaan kiinnittää joko traktorin perän kiinnityksiin, valujen ruuvikiinnityksiin tai traktorin perään liitettävien laitteiden runkorakenteisiin. Kiinnitysten suunnittelu ja mitoitus vaativat yksityiskohtaista suunnittelua. Tässä työssä valittiin esimerkinomaisesti suurpiirteiset kiinnityskohdat, joita käytettiin konseptisuunnittelun reunaehtoina.

Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin etupuolella oleva mahdollinen tila kellukkeelle on esitetty kuvassa 6. Kellukkeen mahdollista tilaa rajoittavat kuljettavan näkymä, maavara, auran leveys ja etukuormaajan liikkeen vaatima tila.



*Kuva 6. Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin etupuolella oleva mahdollinen tila kellukkeelle.*

Kuvassa 7 on esitetty Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin etukuormaajaan liittyviä tukirakenteita, joita voidaan mahdollisesti käyttää kellukkeiden kiinnityksessä. Etukuormaajan lujuus täytyy varmistaa kellukkeiden kuormille. Etukuormaajan valmistajia on kuitenkin Suomessa useita, jolloin kellukkeiden kiinnittämiseen tarvittavien osien rakennesuunnittelu ja lujuusmitoitus voidaan tehdä yhteistyössä sopivan valmistajan kanssa.



*Kuva 7. Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin etukuormaajaan liittyviä tukirakenteita, joita voidaan mahdollisesti käyttää kellukkeiden kiinnityksessä.*

Kuvassa 8 on esitetty lisää Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin etukuormaajaan liittyviä tukirakenteita eri kulmista.

*Auran kiinnitysrunko liittyy etukuormaajaan lattatangon kautta.*



*Etukuormaajaan liittyvä auran kiinnitysrunko*



*Kuva 8. Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin etukuormaajaan liittyviä tukirakenteita, joita voidaan mahdollisesti käyttää kellukkeiden kiinnityksessä. Auran kiinnitysrunkoon voidaan mahdollisesti tuoda kellukkeiden kuormia.*

Kuvassa 9 on esitetty Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin etukuormaajan tukirakenne kohdasta, jossa etukuormaajan runko liittyy traktorin rungon valuun. Traktoreiden rungossa on tyypillisesti järeä ruuviliitos tällä kohtaa, sekä tilaa traktorin runkoon liitettävälle teräsrakenteelle.





*Etukuormaajan kiinnitys moottorilohkoon.*



*Kuva 9. Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin etukuormaajan rakenteita, joita voidaan mahdollisesti käyttää kellukkeiden kiinnityksessä.*

Kuvassa 10 on esitetty Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktori takaviistosta katsottuna. Traktorin takana on tyypillisesti tilaa kellukkeille. Toisaalta traktorin takapyörät tuovat huomattavasti etupyöriä enemmän nostetta, ja traktorin moottori on edessä, jolloin traktorin taakse sijoitetut kellukkeet johtavat helposti traktorin kellumisasentoon, jossa traktorin keula osoittaa pohjaa kohti. Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorissa ovet avautuvat niin, että poistumissuunta on traktori kulkusuunnassa eteenpäin.



*Kuva 10. Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktori takaviistosta katsottuna.*

Kuvissa 11–13 on esitetty Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin perän rakenteita, joita voidaan mahdollisesti käyttää kellukkeiden kiinnityksessä, sekä hahmoteltu kuviin kellukkeiden mahdollista sijoittelua.



*Kuva 11. Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin perän rakenteita, joita voidaan mahdollisesti käyttää kellukkeiden kiinnityksessä. Kellukkeiden mahdollinen sijoittelu on kuvattu sinisellä värillä.*



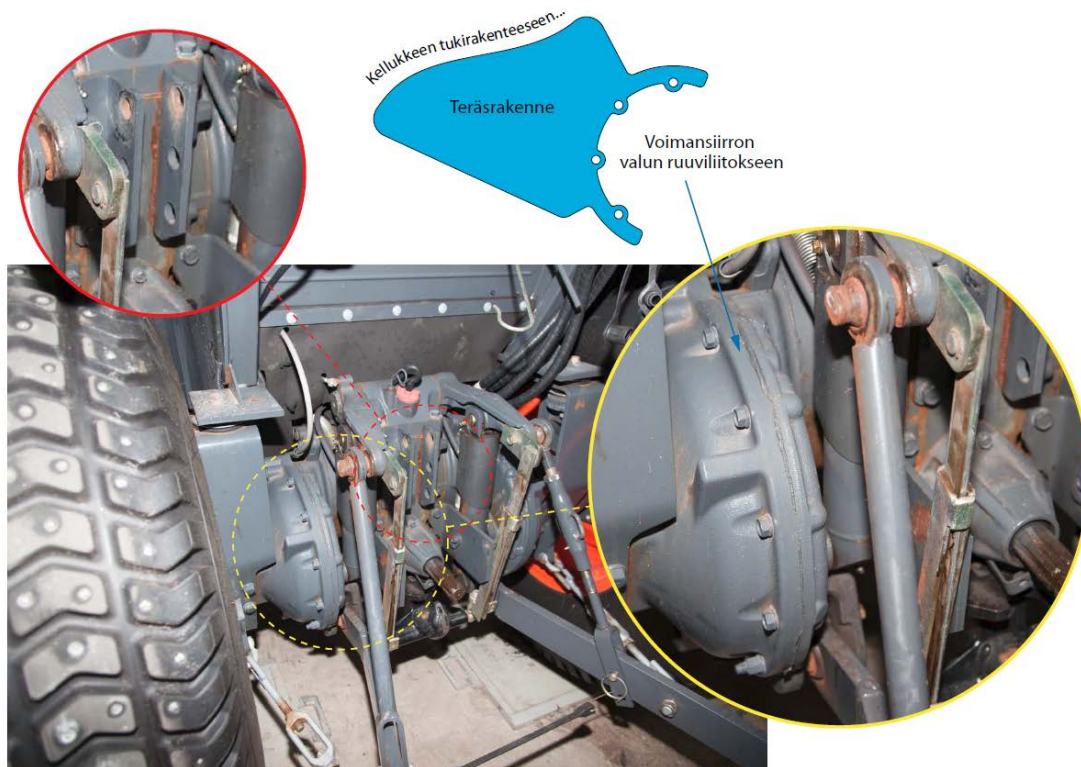
Mahdollinen kellukkeiden sijoittelu perässä.



Mahdollinen kiinnitys 2 x 3 -ruuvikuvioon.

Aisojen pystyliikevara rajoittavat keinuvivut.

Kuva 12. Helsingin liikuntatoimen Kubota-traktorin perän rakenteita, joita voidaan mahdollisesti käyttää kellukkeiden kiinnityksessä.



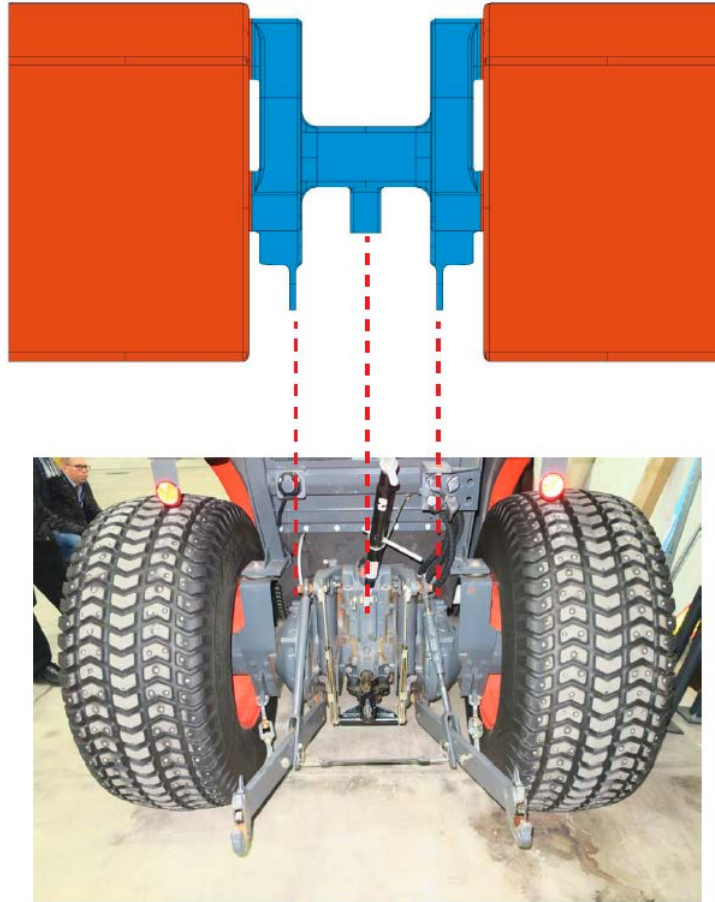
Kuva 13. Mahdollinen kiinnitys voimansiirron valun ruuvikuvioon, tai kiinnityskannakkeen 2 x 3 -ruuvikuvioon.

Kuvassa 14 on esitetty Kubota-traktorin perän aisojen ala- ja yläasennot. Perän aisojen yläasento kantaa kuormaa, mikä mahdollistaa kellukkeiden sijoittamisen traktorin perän aisoihin liittyviin varusteisiin. Varusteiden rakenteiden riittävä lujuus kellukkeista aiheutuville kuormille täytyy kuitenkin varmistaa.



Kuva 14. Kubota-traktorin perän aisojen ala- ja yläasennot.





*Kuva 15. Esimerkkitarkastelussa alustavasti käytetty kiinnitys traktorin rakenteisiin.*

Kuvassa 16 on esitetty kellukkeiden mahdollinen kiinnityskohta taakse kiinnitettävän laitteen runkoon. Apulaitteet ovat tyypillisesti käännettäviä, jolloin kellukkeille on tilaa lähinnä apulaitteiden runkojen päällä. Runkojen päälle sijoitettavasta kellukkeesta on nosteen kannalta tehollinen vain veden alle sijoittuva tilavuus.

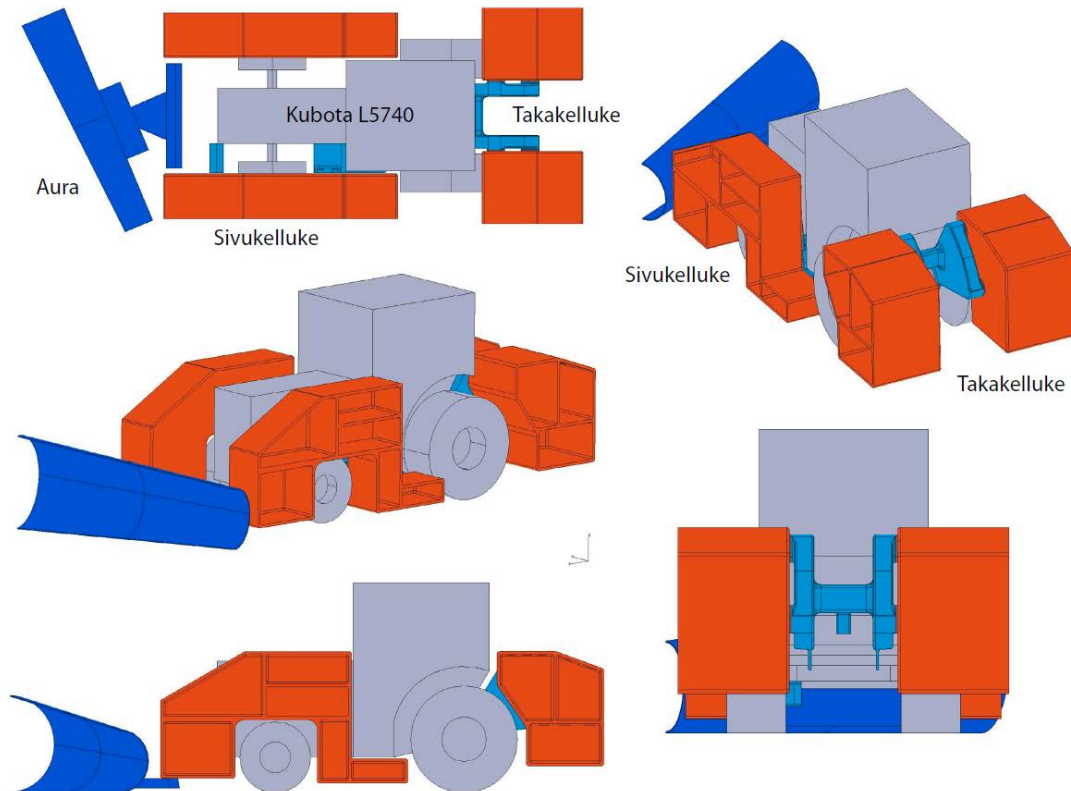


*Kuvassa harjakone.*

*Kiinnityskohtia*

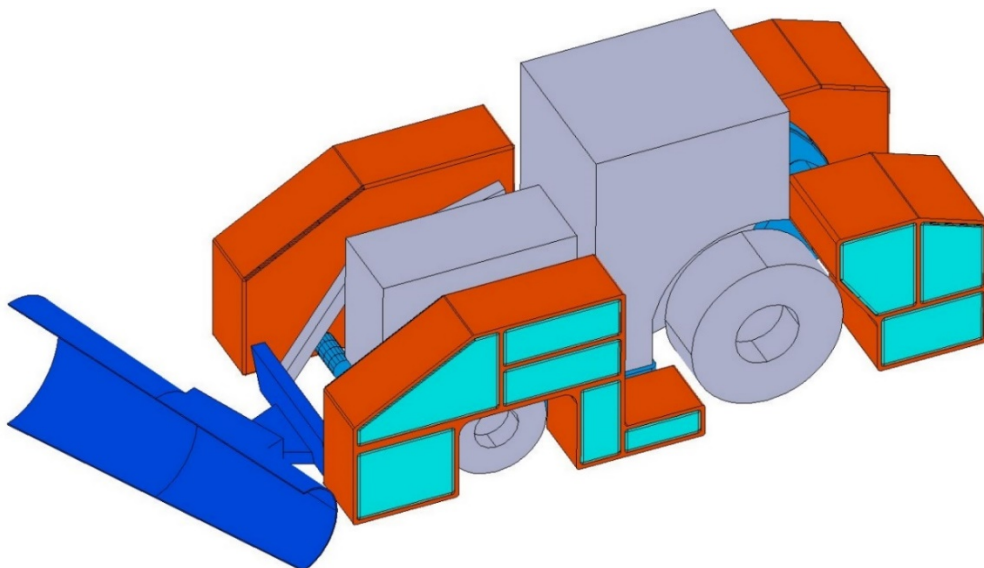
*Kuva 16. Kiinnitys mahdollisesti taakse kiinnitettävän laitteen runkoon.*

Yhteenveto kellukkeiden sijoittelusta konseptisuunnittelussa on esitetty kuvassa 17.



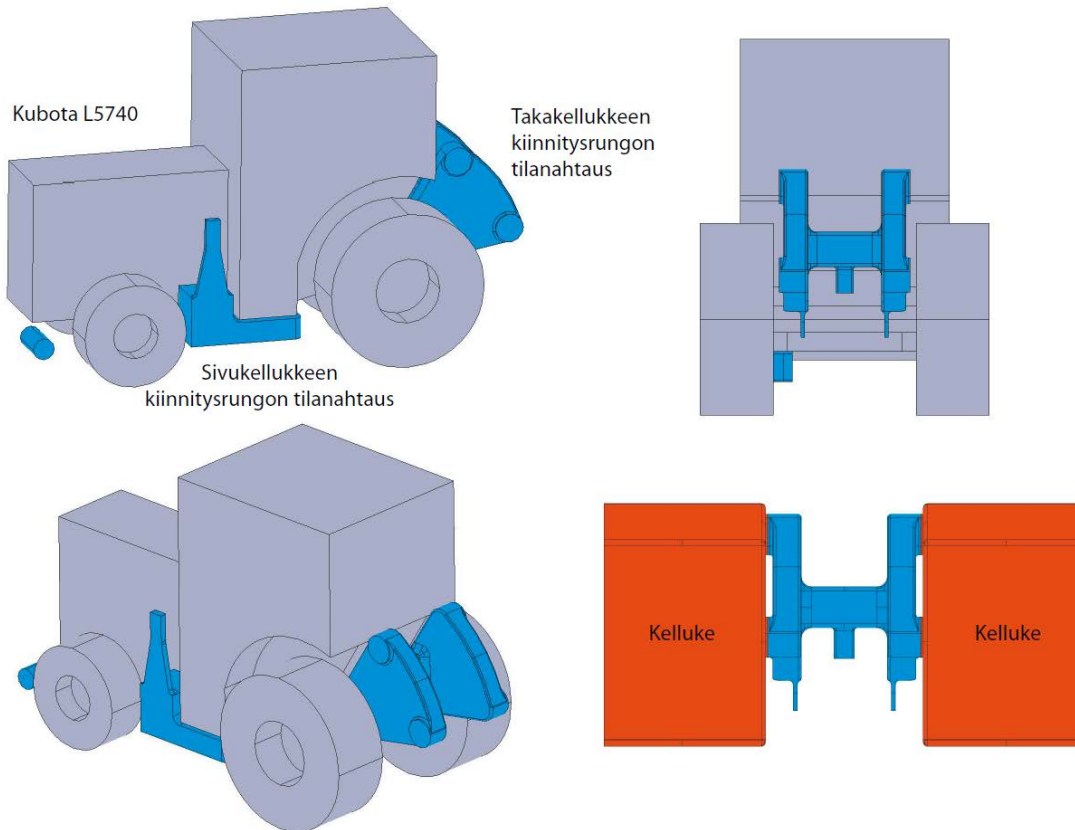
Kuva 17. Käytettävissä oleva tila etu- ja takakellukkeiden kiinnitysrungolle ja kellukkeiden kehikoille. Yhteenveto kellukkeiden sijoittelusta konseptisuunnittelussa.

Kellukkeiden valinnassa mahdollisuus kellukkeiden muotoiluun on tärkeä, jotta esim. kuljettajan näkyvyyden vaatimat viistettävät muodot voidaan toteuttaa. Toisaalta korkealla sijaitsevat kellukkeet eivät ole tehollisia nosteen muodostumisessa. Vakavuuslaskenta on tärkeässä roolissa kellukkeiden sijoittelun suunnittelussa, jotta kellukkeiden sijoittelu on tehokas ja ajoneuvon asento kellumistilanteessa mahdollistaa esteettömän poistumisen ajoneuvosta. Kuvassa 18 on esitetty kellukkeet sijoitettuina tukikehikoihin.



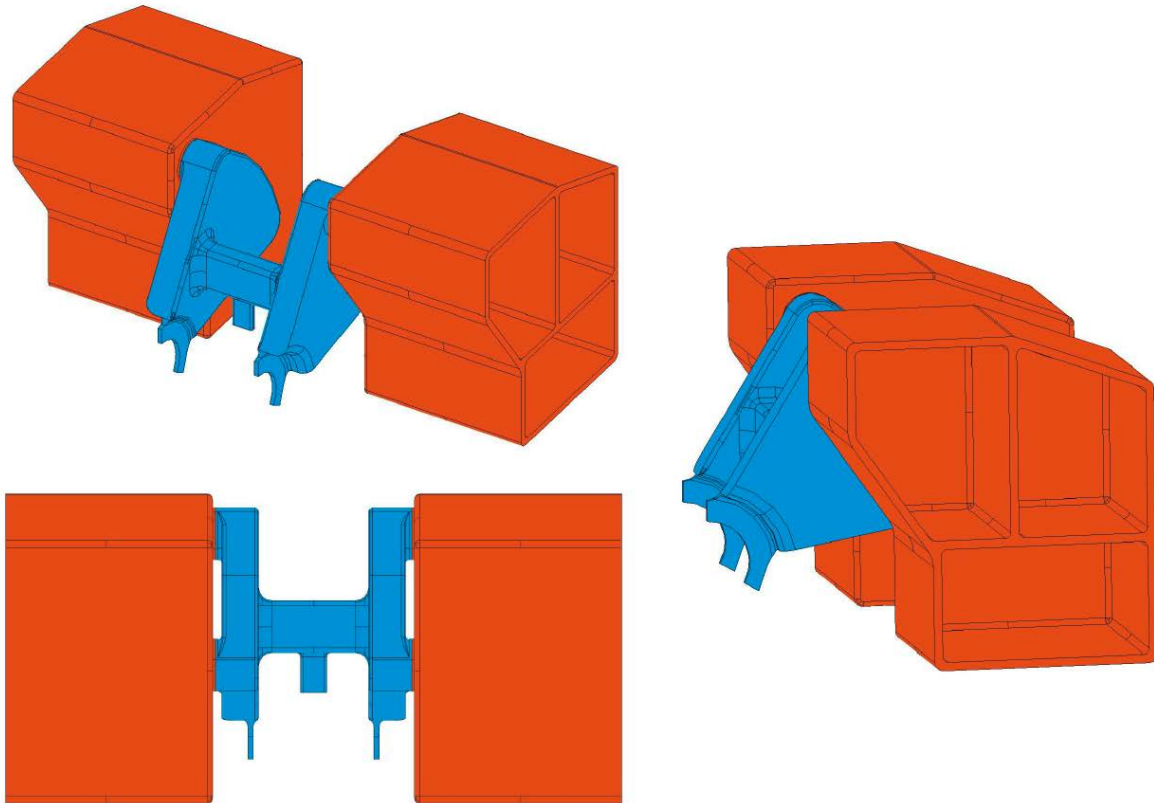
Kuva 18. Kellukkeet (vaalean sinisellä) kehikoissa (oranssilla).

Etu- ja takakellukkeiden kiinnitysrunkojen käytävissä oleva tila ja topologian optimoinnissa käytetyt suunnittelutilavuudet on esitetty kuvissa 19 ja 20. Suunnittelutilavuus on topologian optimoinnin lähtötilanne, jonka sisälle optimointi saa sijoittaa materiaalia. Topologian optimoinnilla voidaan hakea suunnittelun tueksi matemaattinen arvio materiaalityyppien jakaumasta, jolla saavutetaan määritellyillä reunaehdoilla (mahdollinen tila, läpiviennit/tilavaraukset, tuennat ja kuormat) mahdollisimman kevyt rakenne.



*Kuva 19. Etu- ja takakellukkeiden kiinnitysrunkojen käytävissä oleva tila ja suunnittelutilavuudet. Suunnittelutilavuus on topologian optimoinnin lähtötilanne, jonka sisälle optimointi saa sijoittaa materiaalia.*

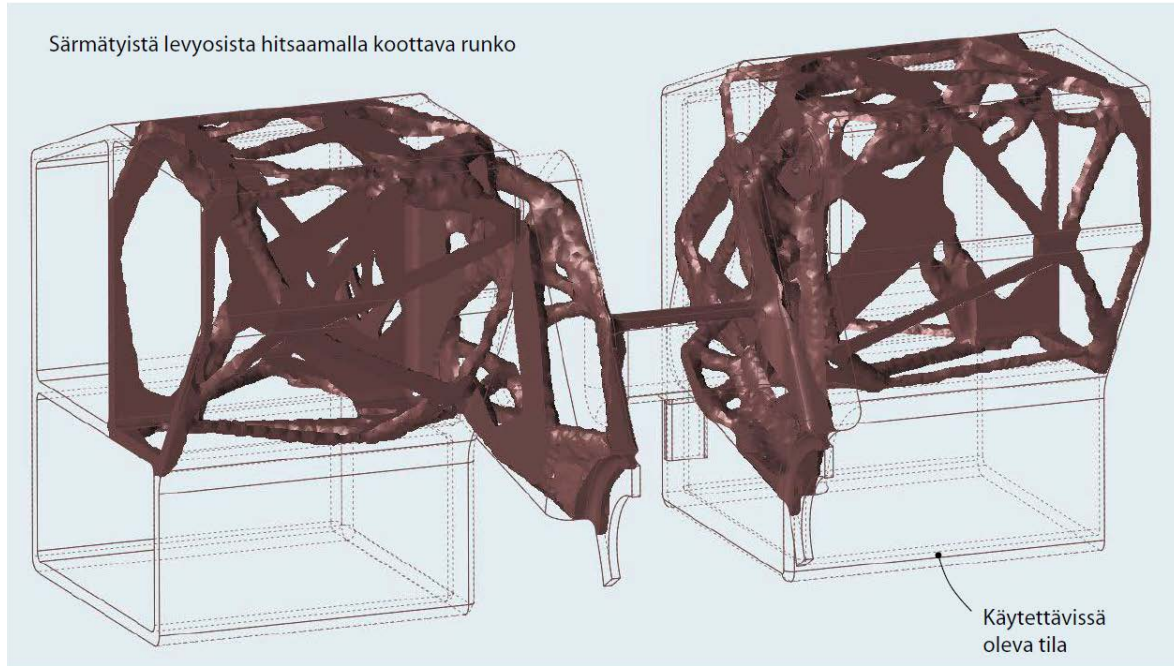




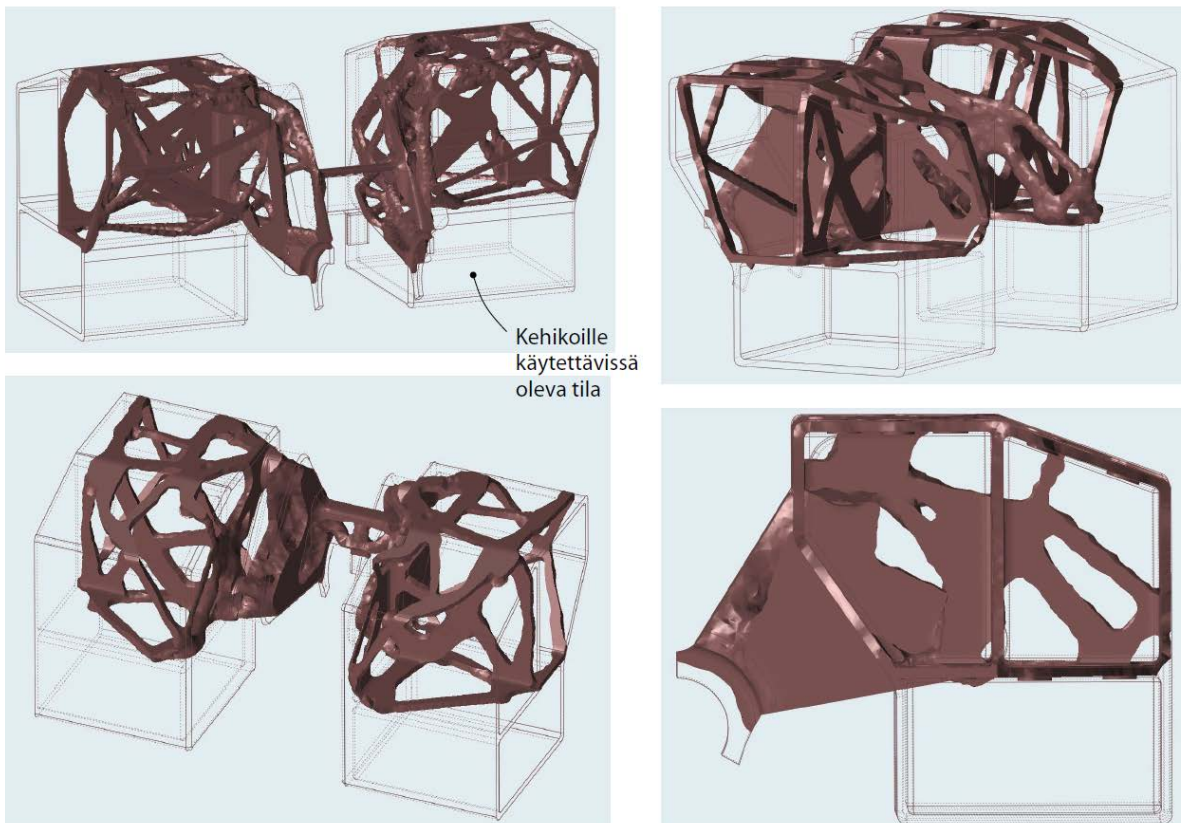
Kuva 20. Käytettävissä oleva tila takakellukkeiden kiinnitysrungolle ja kellukkeiden kehikoille.

## 4.2 Topologian optimointia suunnittelun tueksi

Esimerkkejä topologian optimoinnin tuloksena saaduista materiaali-jakaumista on esitetty kuvissa 21-27. Saatuja materiaali-jakaumia voidaan hyödyntää arvioimalla jakaumia insinöörιαjattelulla (engineering judgement) suunnittelun tueksi. Esim. soveltuvan valmistustekniikan ja usein erilaisten valmistustekniikoiden yhdistäminen, väsymiskestävän rakenteen muotoilu ja liitosten sijoittelu ovat tärkeässä roolissa kustannustehokkaan, kuormaa kantavan kevytrakenteen suunnittelussa.

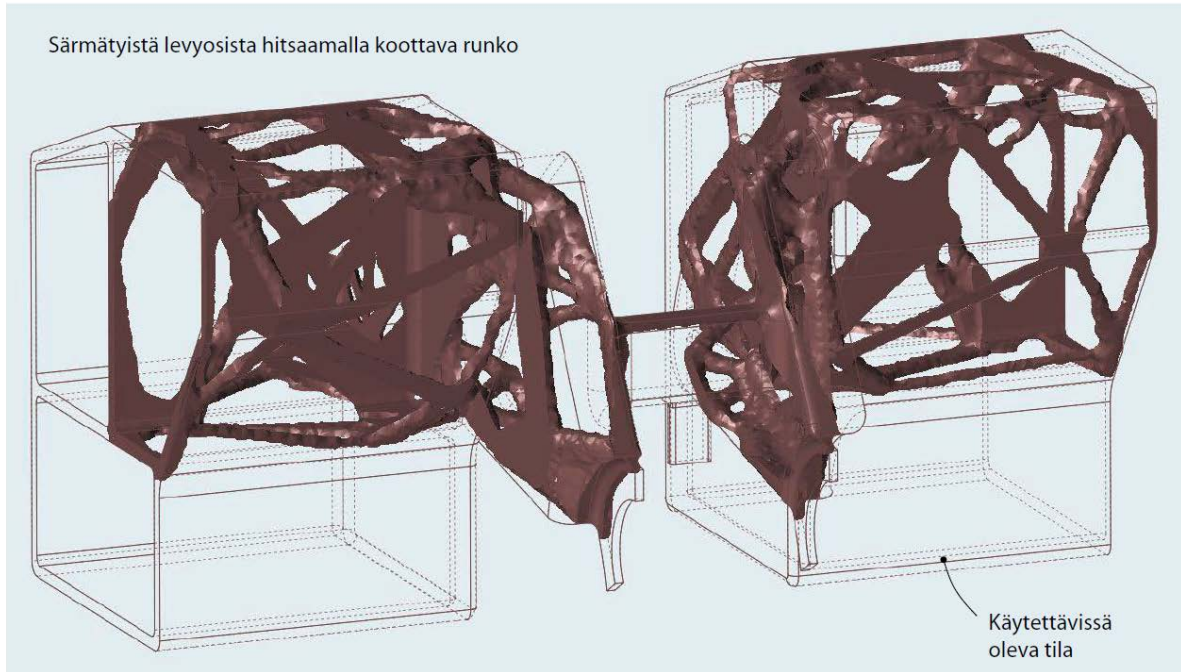


Kuva 21. Takakellukkeiden kiinnitysrungon ja kellukkeiden kehikoiden materiaali- ja tilajakauman haku rakennesuunnittelun lähtökohdaksi topologian optimoinnilla.

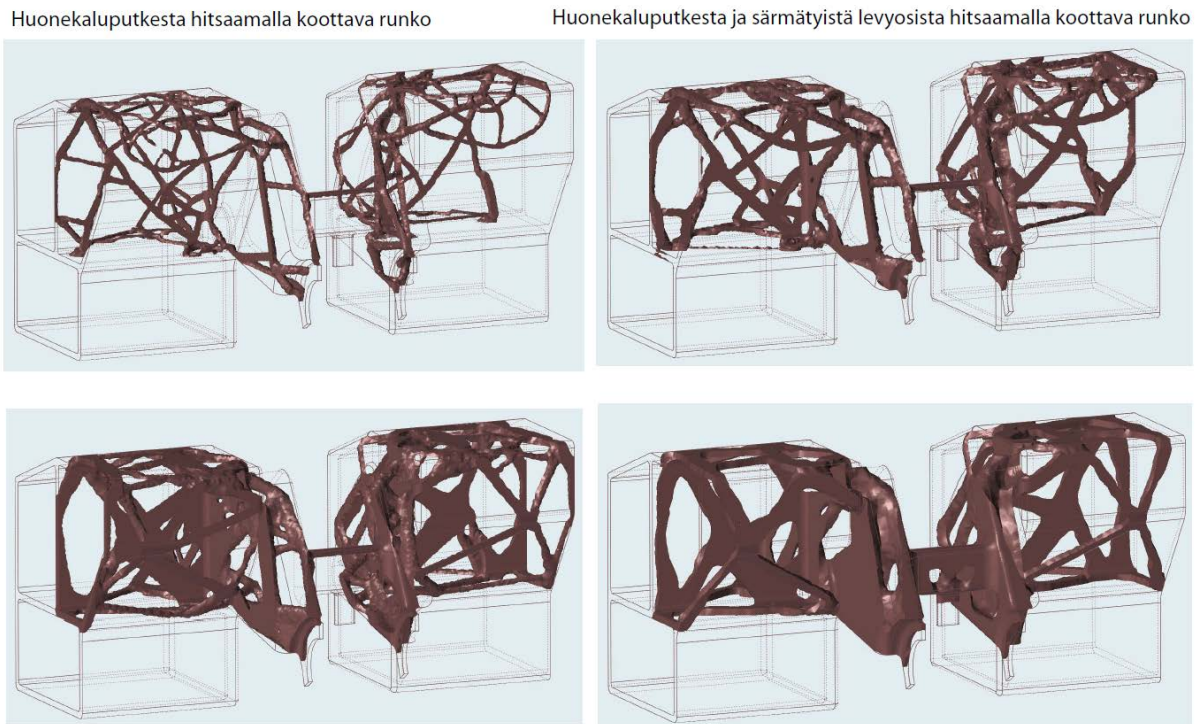


Kuva 22. Takakellukkeiden kiinnitysrungon ja kellukkeiden kehikoiden materiaali- ja tilajakauman haku optimoinnilla.

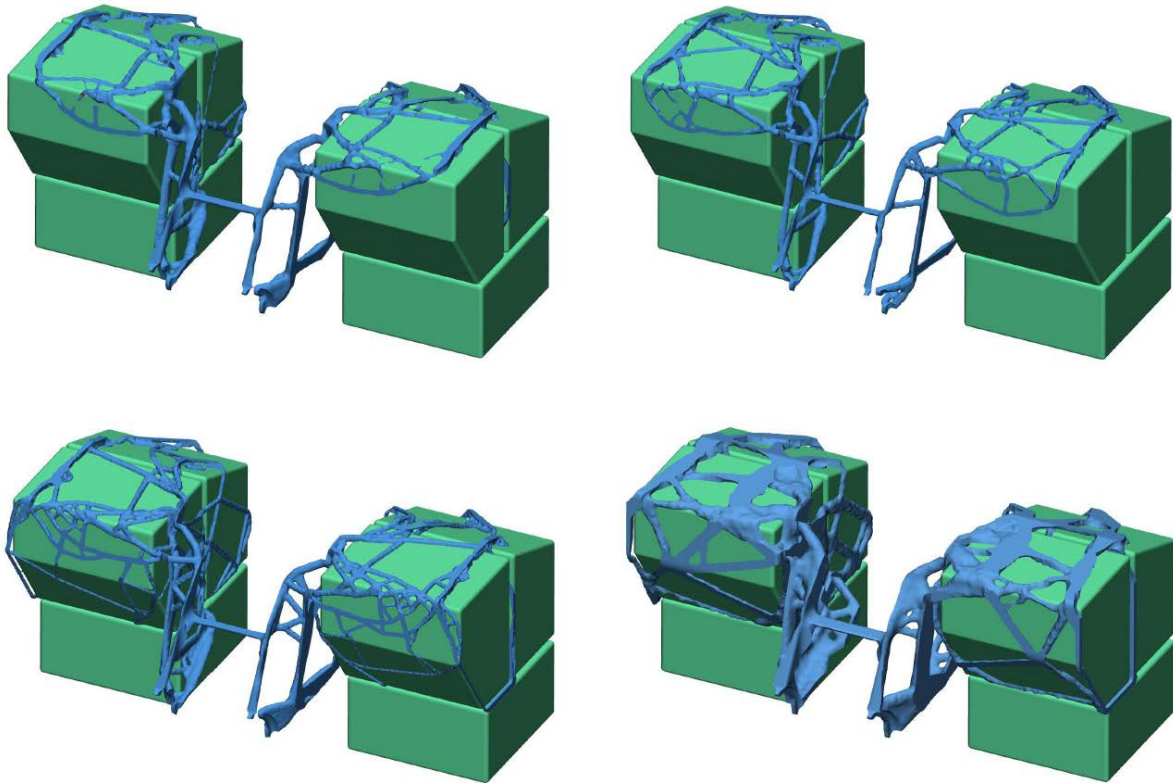




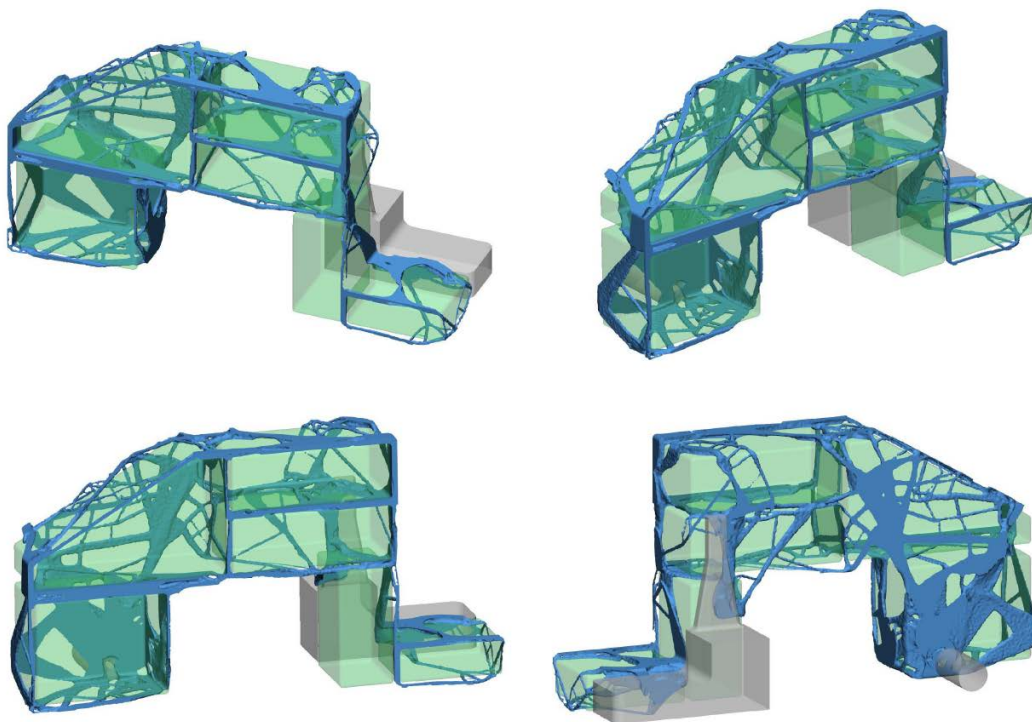
*Kuva 23. Takakellukkeiden kiinnitysrungon ja kellukkeiden kehikoiden materiaali- ja tilajakauman haku optimoinnilla, yksityiskohta. Topologian optimoinnissa määritetty, rakenteelle käytettävissä oleva tila on esitetty läpinäkyvänä.*



*Kuva 24. Takakellukkeiden kiinnitysrungon ja kellukkeiden kehikoiden materiaali- ja tilajakauman haku optimoinnilla. Topologian optimoinnilla saatu materiaali- ja tilajakauma ei ole yksikäsitteinen, ja mitoituslaskennassa täytyy arvioida tarvittava materiaalin määrä esim. rakenneanalyyysillä ja suunnitella rakenne valmistukseen soveltuvaksi.*

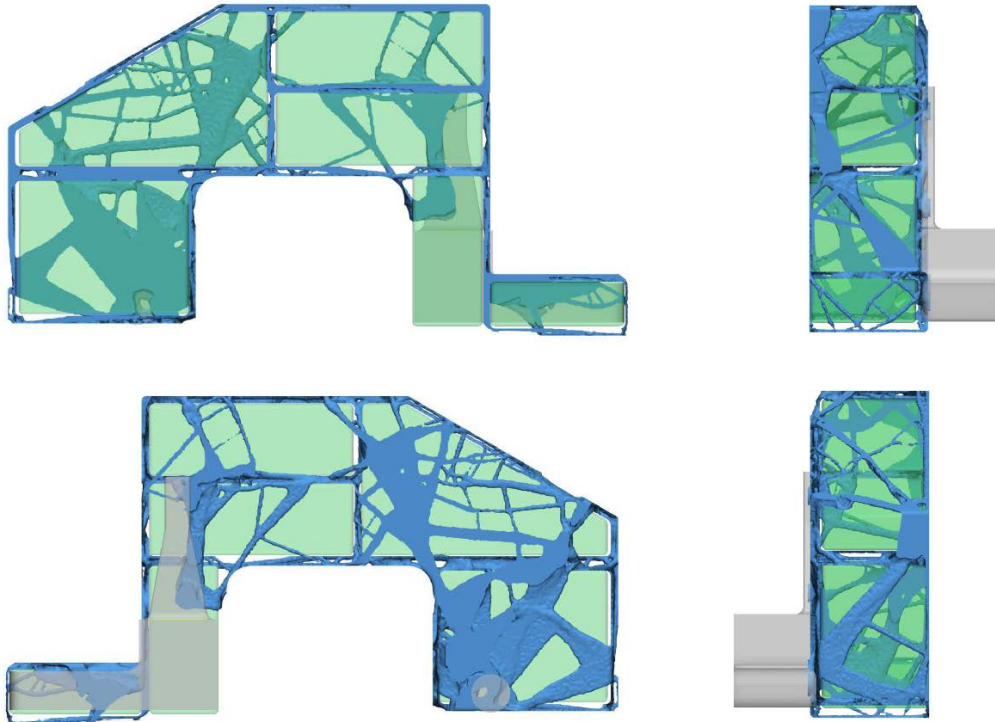


Kuva 25. Vaihtoehtoisia materiaalijakaumia takakellukkeiden tukirakenteiden topologian optimoinnista. Topologian optimoinnin tulokset ovat suuntaa antavia ja niitä käytetään konseptisuunnittelun lähtökohtana, apuna rakennesuunnittelussa.



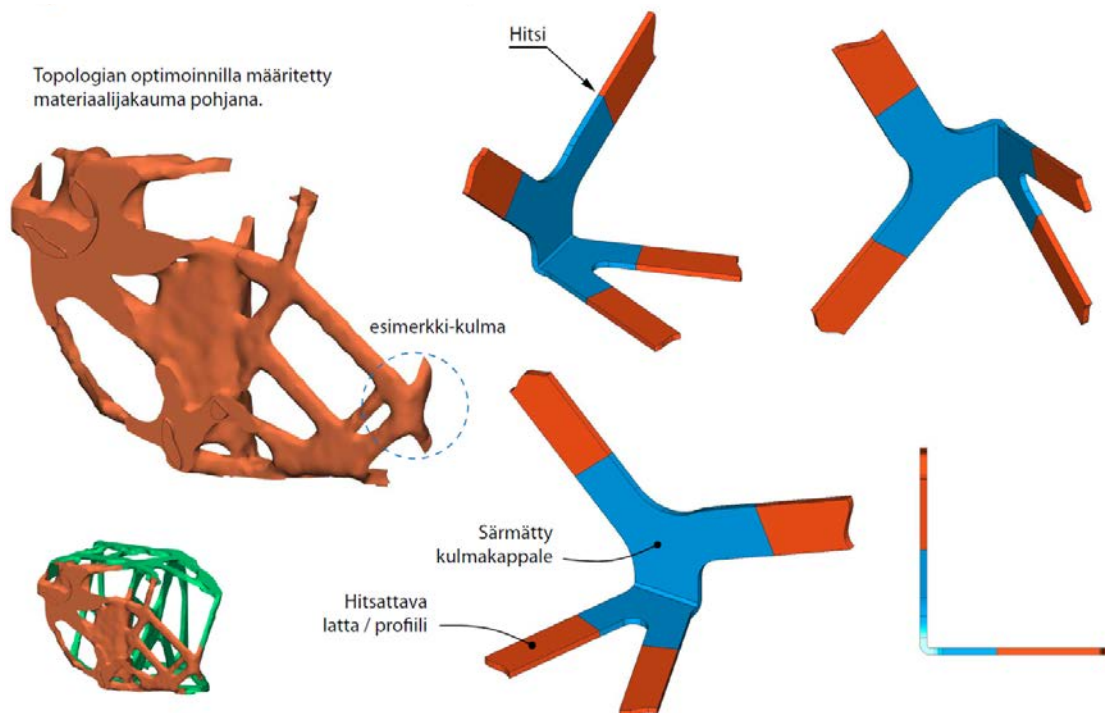
Kuva 26. Vaihtoehtoisia materiaalijakaumia etukellukkeiden tukirakenteiden topologian optimoinnista. Optimointi tuottaa melko paljon ohuita, sekundäärisiä rakenteita. Rakenteesta voidaan suunnitella yksinkertaisempi käyttämällä valmistustekniikan huomioivia suunnitteluperiaatteita. Insinööriarvioinnin ja suunnittelun merkitys korostuvat tällaisten materiaalijakaumien suunnittelussa käytännön rakenteiksi.





Kuva 27. Vaihtoehtoisia materiaalijakaumia etukellukkeiden tukirakenteiden topologian optimoinnista.

Kuvassa 28 on esitetty yksi mahdollinen käytännön toteutus topologian optimoinnilla saadun orgaanisen muodon suunnittelusta hitsattuna rakenteena. Periaatteena on käyttää särmättyjä osia hitsien sijoittelussa pois rakenteen nurkista matalan jännityksen alueille rakenteessa, millä saavutetaan hitsatulle rakenteelle korkea väsymiskestävyys ja rakenteen keventäminen on mahdollista.



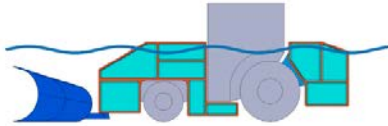
Kuva 28. Käytännön toteutus hitsattuna rakenteena, periaatekuva särmättyjen osien käytöstä hitsien sijoittelussa pois rakenteen nurkista matalan jännityksen alueille rakenteessa.

Kuvissa 29 ja 30 on esitetty yhteenveto kellukkeiden suunnittelusta ja vaihtoehtoisista tavoista kellukkeiden tukirakenteiden toteutuksessa.

**Kellukkeiden vaihtoehtoja**

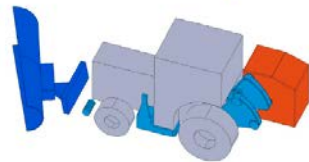
- Säiliöt, putket
- vakiokomponentit
- räätälöinti (muotilla, muovin hitsaus)
- 'Paukkuliivi' -tekniikka
- Laminoitu styroksi
- Paloletku

**Kellukkeiden sijoittelu**



- Veden pinnan taso upoksissa?
- Hitusvoima, kun traktori putoaa?
- Saako oven auki (veden paine, jää, avaussuunta)
- Kellukkeiden tehollinen noste vs. veden pinta

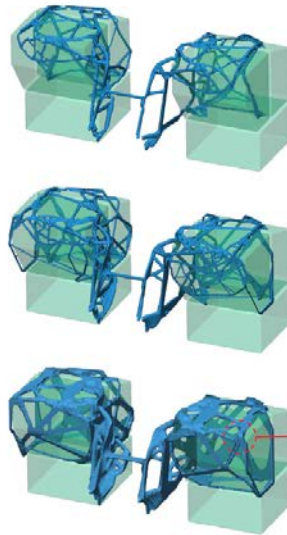
**Kellukkeiden kiinnitykset**



Alustavat kiinnitykset esimerkkeinä

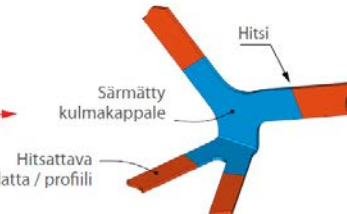
**Materiaalijakauma suunnittelun lähtötiedoksi**

- Topologian optimoinnilla



**Rakennesuunnittelu**

- Tukirakenteen valmistus
- särmätynä laserleikatusta levystä, kokoonpano hitsattuna
- putkiprofiilista hitsattuna
- osarakenteet tarvittaessa valuna
- yhdistelmä rakenne
- Asennettavuus
- nostopaino (max. 32 kg) tai nosturilla
- Paino
- kevytrakennesuunnittelu
- Lujuus ja kestävyys
- todellisia kuormia on vaikea arvioida
- kuormat voidaan määrittää kenttämittauksella



Noste = syrjäytystilavuus - (tukirakenteiden paino + muu lisäpaino)

Lisäksi vain traktorin painopisteen alla oleva kellukkeiden tilavuus on tehollinen?

Kuva 29. Kuvallinen yhteenveto kellukkeiden suunnittelusta.

**Kellukkeiden tukirakenteet**

**Vaihtoehtoja**

**Muovin hitsaus**

- liitokset suoraan muovisäiliöön
- koneistettu liitososa traktorin runkoon / työkaluihin



Venemessuilla 2019

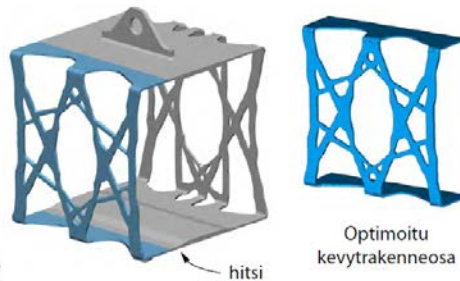
Muovin sulahitsaus

**Laminoitu lasikuitu**

- Komposiittiosaan liitetty teräskannake
- Vanteet säiliön ympäri + kannake

**Laserleikkaus + särmäys + hitsaus/ruuviliitos**

- kevyt rakenne optimoinnilla
- levyrakenne + koneistettu liitososa
- liitososa valuna (malliton valu)
- tai koko rakenne valuna (ei hitsiliitoksia)

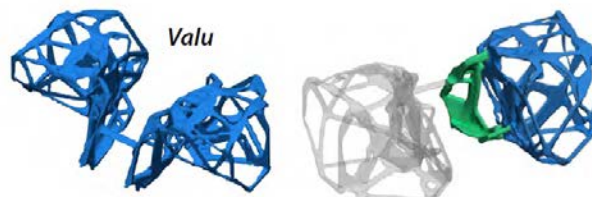


Optimoitu kevytrakenneosa

**Väsymiskestävyys**  
Keveys, lujuus  
Valmistuskustannukset  
Räätälöitävyys

**Valu 3D-tulostettavilla muoteilla**

- monimutkaiset muodot
- yksittäiset valut
- kustannustehokkaasti



Valu + levyrakenne

VTT 14.3.2019

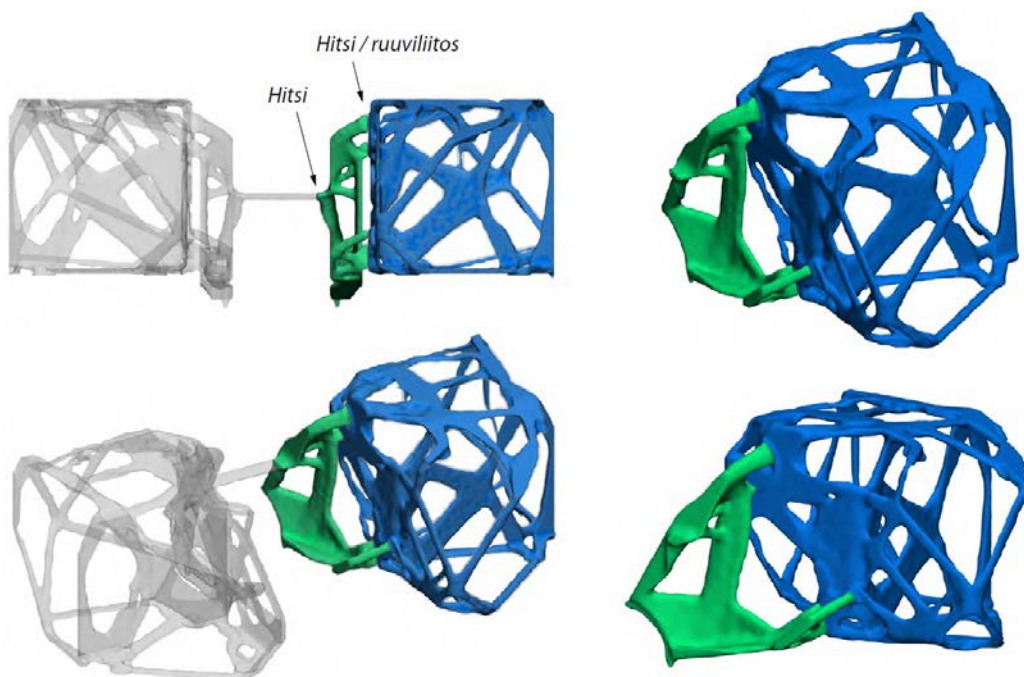
Kuva 30. Yhteenveto vaihtoehtoisista tavoista kellukkeiden tukirakenteiden toteutuksessa.

### 4.3 Kevytrakenteen toteutus valuna ja levyrakenteena

Traktorin varustelu kellukkeilla johtaa ulokemaisiin tukirakenteisiin. Tukirakenteen tuenta on mahdollinen vain traktorin puolella, jolloin tukirakenteeseen kohdistuu taivutuskuorma ja suurin rasitus aiheutuu lähelle tuentaa. Ulokemaisen rakenteen optimaalisessa rakennesuunnittelussa materiaalin käyttö painottuu lähelle tukia suurimpien rasitusten alueelle. Tällaisessa kuormitustilanteessa kannattaa usein käyttää valuja, joilla voidaan toteuttaa monimutkaisiakin muotoja ja voidaan sijoitella materiaalia lujuusvaatimusten mukaisesti (lähellä tuentaa jännitystila on usein kolmiulotteinen, jolloin optimaalinen muoto on myös usein vahvasti kolmiulotteinen). Valut voidaan lisäksi muotoilla jouheviksi, millä voidaan välttää jännityskeskittymiä, ja lisäksi valuilla on hyvä väsymislujuus, koska ne ovat perusainetta (erotuksena hitsatuista rakenteista). Valuja voidaan liittää levytavaraan hitsaamalla, hitsit voidaan sijoitella muotoilulla kauas jännityskeskittymistä ja käyttää päittäishitsejä, jolloin valujen ja esim. laserleikatun ja särmätyn levytavaran yhteiskäytöllä on mahdollista suunnitella ja valmistaa keveitä ja väsyttäviä rasituksia hyvin kestäviä rakenteita.

Nykyään valujen käyttöä puoltaa myös 3D-tulostettavien hiekkamuottien käytön helppous ja soveltuvuus pienille sarjoille ja räätälöivään suunnitteluun. 3D-tulostettavat hiekkamuotit mahdollistavat myös topologian optimoinnin hyödyntämisen melko suoraan optimoidusta, organisesta muodosta.

Esimerkki topologian optimoinnilla haetun muodon toteuttamisesta valuna kahtena hitsaamalla liitettävänä valukappaleena on esitetty kuvassa 31. Kuvan sininen kappale kannattaa tässä luultavasti suunnitella laserleikattuna ja särmättynä levytavarasta, ja liittää valuun hitsaamalla tai ruuviliitoksella.



Kuva 31. Muotin perusmuodon tekeminen, kun rakenne tehdään paloina valettavana.

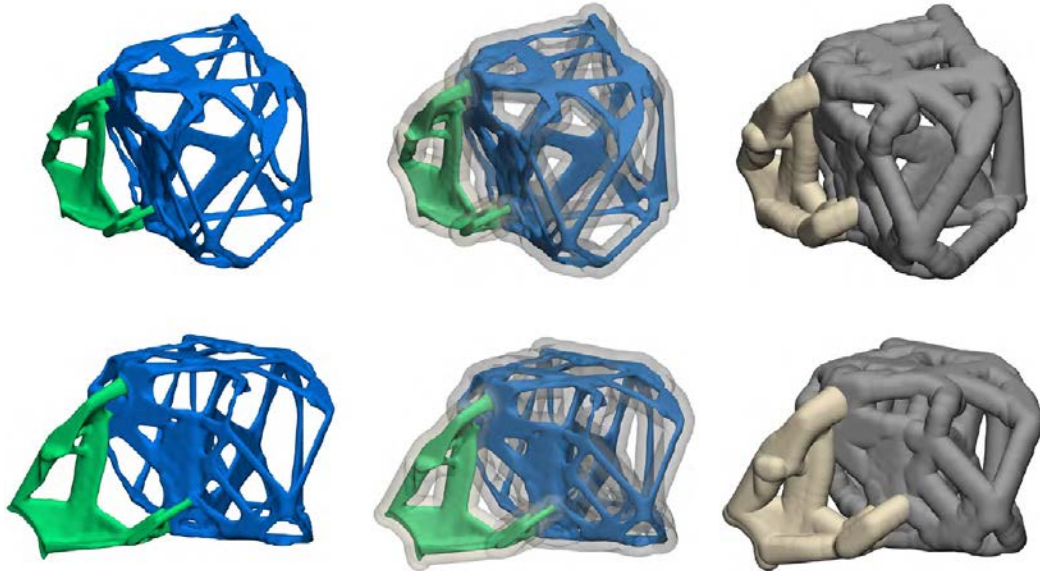
### 4.4 3D-tulostettava hiekkamuotti orgaanisen muodon valua varten

Valukappaleen suunnittelun työnkulkua kokeiltiin alustavasti yhdessä Hetitec Oy:n kanssa, ja monimutkaisinkin muodon valusuunnittelu on tehtävissä tehokkaasti nykyaikaisilla mallinnusohjelmilla. Muotin valutilavuus saadaan suoraan rakenteen muodosta, mikä

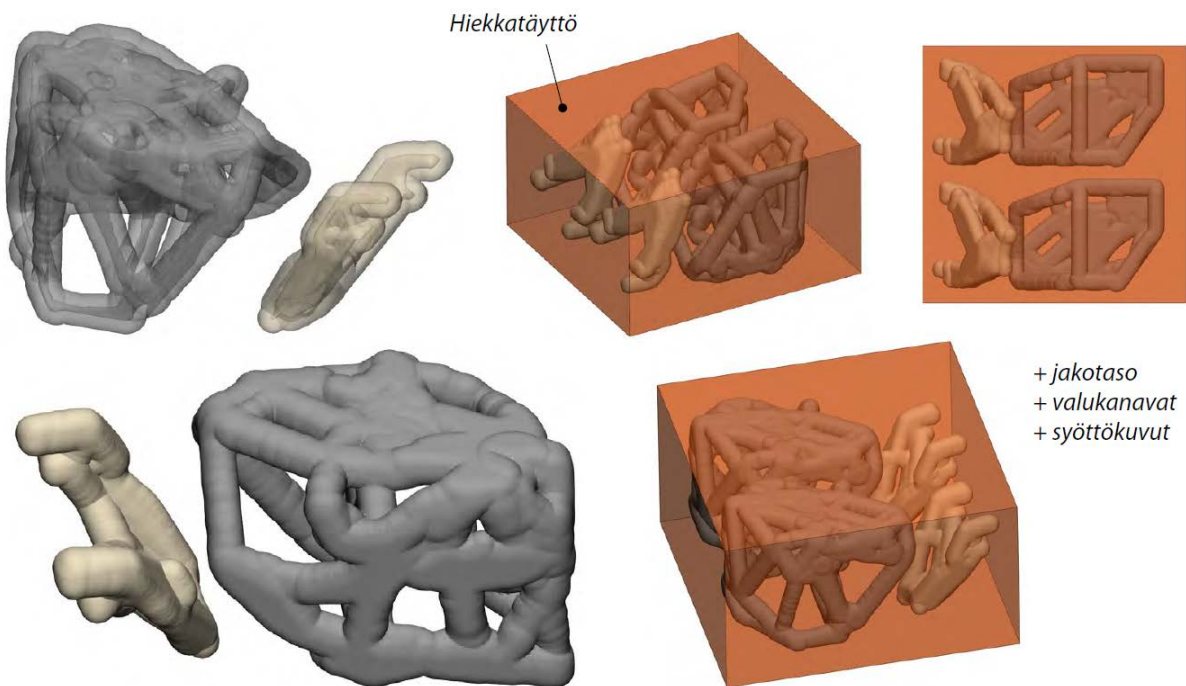


nopeuttaa muotin suunnittelua ja mahdollistaa yksittäisten kappaleiden valamisen kustannustehokkaasti.

Kuvissa 32 ja 33 on esitetty esimerkkinä takakellukkeen tukirakenteen valumuotin tekeminen topologian optimoinnin tuottamasta geometriasta. Käytännössä muotoa joudutaan muokkaamaan, mutta työnkulku on periaatteessa sujuva.



Kuva 32. Muotin perusmuodon tekeminen rakenteen muodosta muotinsuunnittelua varten. Tässä rakenteen muoto on esimerkkinä suoraan topologian optimoinnista muokkaamattomana.



Muottien sijoittelu valulaatikossa

Kuva 33. 3D-tulostettava muotti + hiekkatäyttö perinteisellä kaavauksella (+ valukanavat ja syöttökuvut).

## 5. Ehdotus ratkaisuvaihtoehdoista

---

Kellukkeet voidaan toteuttaa usealla tekniikalla, mutta ulokemaiset kellukkeet vaativat taivutuskuorman kantavat tukirakenteet ja liitokset jäykkiin kohtiin ajoneuvon rungossa. Pehmeät kellukkeet kuten täytettävät pussit (paukkuliivit ym.) vaativat täyttyvän pussin muodossaan ja veden pinnan alla pitävät tukirakenteet.

Tässä työssä arvioitujen vaihtoehtojen perusteella lupaavimmat kelluketekniikat ovat:

- Laminoitu solupolystyreeni -levy (esim. kauppanimillä Finnfoam, Styrox)
  - Eristelevy saadaan jäykistetyksi laminoimalla lasikuitupinta, jolloin kellukkeille saadaan kohtuullisia iskuja vastaan riittävän luja pinta. Tarvittaessa voidaan käyttää paikallisesti metallilevyä, jos halutaan varautua mahdollisia pistemäisiä iskuja vastaan.
  - Kellukkeet voidaan muotoilla sovittamalla ja leikkaamalla eristelevystä ja päällystämällä/vahvistamalla laminoimalla.
  - Kellukkeet voidaan koota kuormaa kantaviin kehikoihin, jolloin kellukkeissa riittää paikoittavat kiinnityspisteet ja kehikko kantaa kuormat ja välittää nosteen ajoneuvon runkoon.
  - Kellukkeisiin voidaan liittää laminoinnin yhteydessä pantatyypiset tukirakenteet ja liittynät, joilla kellukkeet voidaan kiinnittää tukirakenteeseen tai suoraan ajoneuvon runkoon.
- Muovisäiliöt
  - Sulahitsauksella muovilevyistä koottavat, räätälöitävät säiliöt.
  - Valmiista komponenteista, kuten putkista tulppaamalla tehtävät säiliöt, jotka kootaan kuormaa kantaviin kehikoihin.
  - Kellukkeet voidaan koota kuormaa kantaviin kehikoihin, jolloin kellukkeissa riittää paikoittavat kiinnityspisteet ja kehikko kantaa kuormat ja välittää nosteen ajoneuvon runkoon.
  - Kellukkeisiin voidaan sulahitsata kannakkeet, joista kellukkeet voidaan kiinnittää tukirakenteeseen tai suoraan ajoneuvon runkoon. Tällaisia kiinnityksiä käytetään esim. laitureiden kellukkeissa.
  - Pantatyypisellä kiinnityksellä.

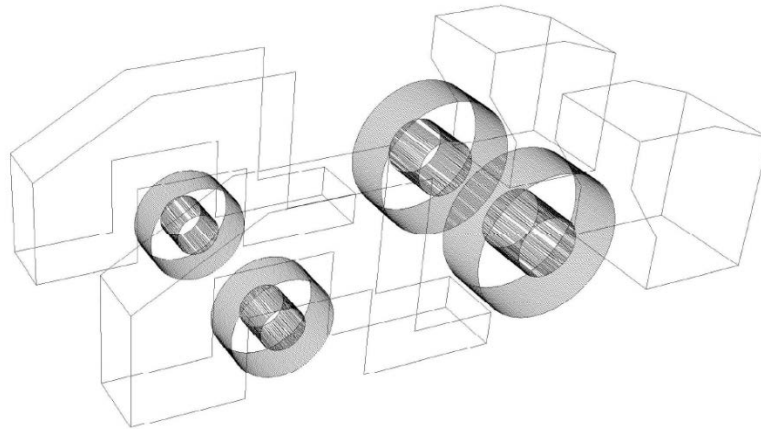
Mitoituskuormia ei ollut tiedossa tässä työssä. Kellukkeiden tuennan tyyppin soveltuvuus traktorin varusteluun riippuu kuormitusten suuruudesta. Mitoitusperusteet ja mitoituskuormat täytyy selvittää jatkotarkasteluna. Tukirakenteet kannattaa suunnitella kevytrakenteina, jotta kellukkeiden noste saadaan hyödynnettyä tehokkaasti.

Jos kellukkeista aiheutuvat kuormitukset jäävät pieniksi, tukirakenteet voidaan toteuttaa kehikkotyypisinä kokonaan levytavarasta laserleikattuna ja hitsattuna. Kiinnitys traktorin runkoon täytyy tehdä ruuviliitoksilla, koska runko on valua ja teräsosienkin väsymislujuus saatetaan pilata hitsaamalla kiinnityksiä suurten rasiusten alueille. Koska traktorin lujuuslaskelmia ei ole käytössä, kiinnitykset on varminta sijoittaa traktorin olemassa oleviin ruuviliitoksiin.

Jos kellukkeista aiheutuvat kuormitukset ovat merkittäviä, kuten voidaan olettaa, tukirakenteiden väsymiskestävyys ja äärijujuus nousevat luultavasti keskeisiksi rakennesuunnittelussa. Lähellä liitoksia suurimpien rasiusten kohdilla voidaan käyttää valuosia, ja muu rakenne voidaan tehdä levytavarasta laserleikattuna ja hitsattuna, hyödyntäen särmäystä hitsien sijoittelusta pois rakenteellisista epäjatkuvuuskohdista, matalien jännitysten alueille, jolloin kevyillekin rakenteille saadaan korkea väsymislujuus.

## 6. Kelluvuustarkastelu

Traktorin ja kellukkeiden vakavuutta tutkittiin laskennallisesti karkealla mallilla, jotta saatiin käsitys, miten kokonaisuus käyttäytyisi kellumistilanteessa. Tarkastelussa ei ole otettu huomioon dynaamisia vaikutuksia joita tulee, kun traktori ja kelluke yhdistelmä vajoaa jään läpi. Esimerkiksi traktori ei vajoamistilanteessa välttämättä ole täysin suorassa vaan vajoaa keula edellä. Näitä tilanteita on mahdollista tutkia tarkemmin myöhemmin. Tässä tehty tarkastelu kuitenkin antaa jo kuvan siitä miten vakaasta yhdistelmästä on kyse.

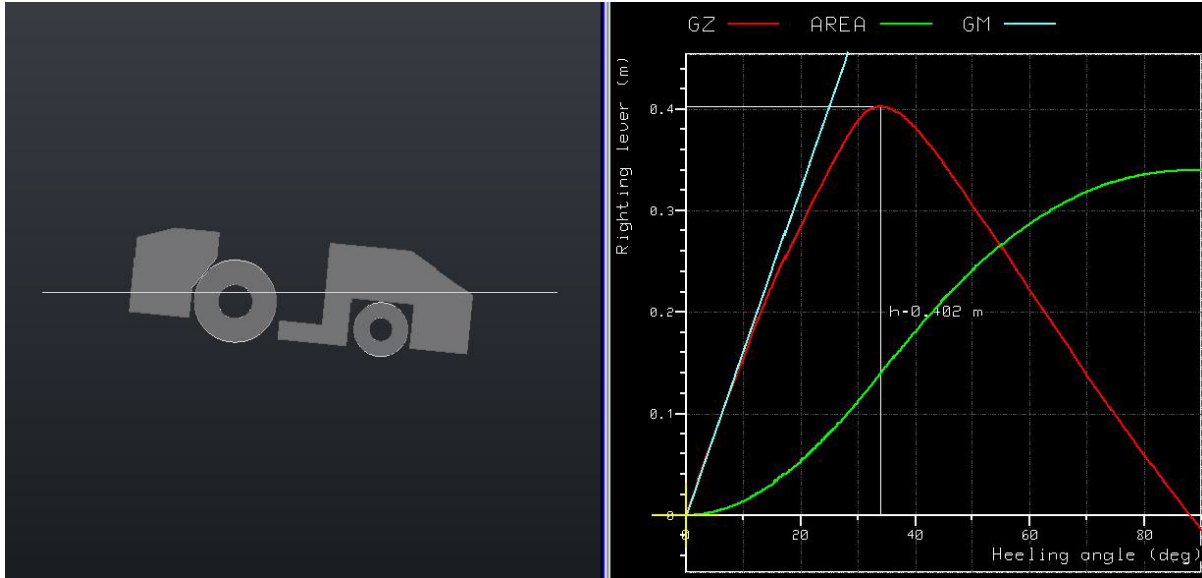


Kuva 34. Vakavuustarkastelussa huomioidut tilavuudet.

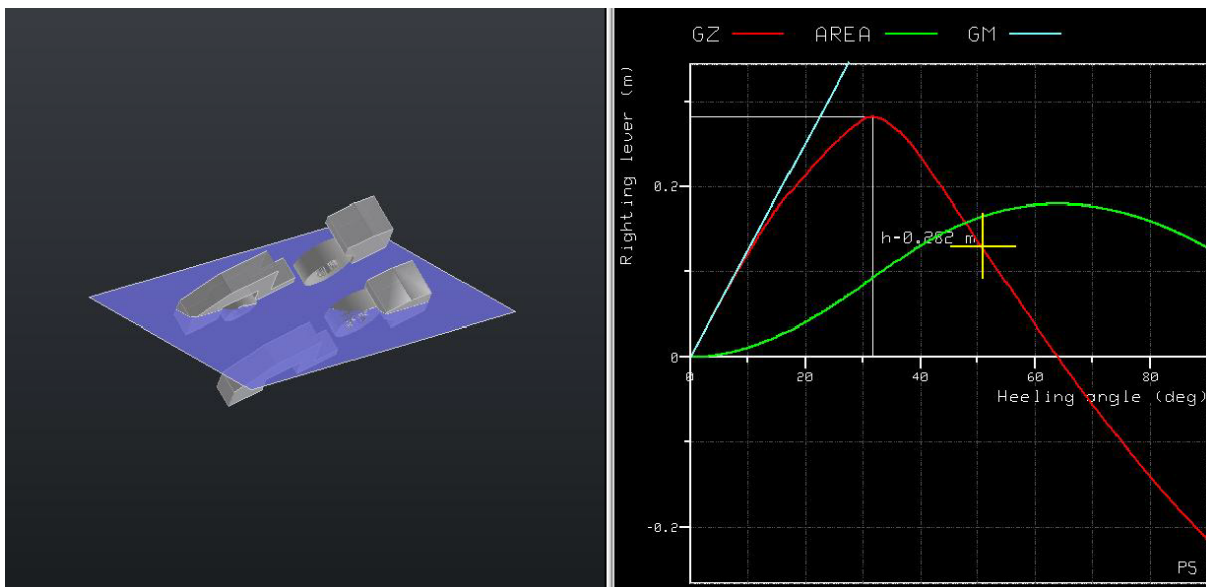
Kuvassa 34 nähdään vakavuustarkastelussa huomioon otetut tilavuudet eli kellukkeet ja renkaat. Muita rungon osia ei otettu huomioon, vaikka ne myös osaltaan aiheuttavat nostetta. Tämä on siten konservatiivinen lähestymistapa. Mallin painopiste oli pituus ja leveys suunnassa asetettu mittausten (Mittaukset kappaleessa 2) mukaiseksi. Korkeussuunnassa painopisteen paikka arvioitiin ja laskennassa käytettiin kahta eri arvoa. Traktorin massana tarkastelussa käytettiin 2100 kg. Alla käytetty painopisteen paikka:

- Pituussuunta: 1070 mm taka-akselin etupuolella
- Leveysuunta: taka-akselin keskellä
- Korkeussuunta: taka-akselin yläpuolelle a) 200 mm b) 400 mm

Analyysin tuloksena voidaan sanoa, että kyseinen kelluke konfiguraatio on suhteellisen vakaa. Kuva 35 näyttää mihin asentoon traktori jäisi neutraalitalanteessa kellumaan. On huomattava, että traktorin keula painuu tässä tapauksessa huomattavasti alemmas kuin perä. Tämä johtuu painopisteen paikasta ja keulan pienemmistä kellukkeista. Keulan vajoamisesta johtuen traktorin vakavuus heikkenee, koska sivuttaiskallistus tilanteessa traktori kellahtaa nurin etukulman kautta. Jos keula ja perä olisivat samalla tasolla tilanne olisi vakavuuden kannalta parempi. Kuvassa 36 on nähtävissä, kuinka traktori on lähellä kellahtuspistettä 51 asteen sivuttaisessa kallistuksessa. Jos sivuttaiskallistusta tästä lisätään, traktori kellahtaa ympäri etukulman kautta. Tässä on käytetty vakavuuden kannalta huonompaa tilannetta eli tapausta b, jossa painopiste on korkeammalla.



Kuva 35. Traktorin ja kellukkeiden neutraali kellumistilanne (tapaus a.)



Kuva 36. 51 asteen sivuttainen kallistuskulma, jonka jälkeen traktori kellahtaa ympäri (tapaus b).

Yhteenvedona voidaan todeta, että kellukkeiden määrä on kokonaisuudessaan riittävä hydrostaatiikan kannalta, mutta jos vakavuutta halutaan lisätä, niin niiden sijoittelua kannattaa miettiä siten, että keulassa olisi enemmän nostetta. Tällöin traktori kelluisi pituussuunnassa suuremmissa ja vakavuus olisi sivuttaiskallistustilanteessa parempi. Dynaamisten vaikutusten arvioimiseksi simulointeja olisi hyödyllistä suorittaa myös täydellisellä liikeyhtälöllä, jossa on huomioitu traktorin lisäty massa (vesipartikkelien kiihdytys) sekä vaimennus termit.

## 7. Ehdotus prototyypin suunnittelusta, valmistuksesta, sekä toimivuuden ja kestävyuden varmistamisesta

Ehdotus prototyypin suunnittelusta, valmistuksesta, sekä toimivuuden ja kestävyuden varmistamisesta on esitetty seuraavassa listassa. Kuntien toiveena oli, että selvitetään myös mahdollisia tahoja ja yrityksiä prototyypin suunnitteluun ja valmistukseen.

1. Vaatimusten määrittely, sekä mitoituskuormien ja mitoitusperusteiden arviointi
  - a. Mitoituskuormien simulointi vakavuuslaskennalla
  - b. Jäihin putoamis -tilanteen kuormitukset
    - i. Noste, dynaamiset kuormitukset
    - ii. Jään aiheuttamat kuormitukset
    - iii. Epäsymmetrinen vajoaminen
    - iv. Erilaiset skenaariot jäihin putoamis -tilanteen etenemisestä, jotta mitoituskuormat kattavat mahdolliset tilanteet
      1. Riskianalyysi
      2. Pelastussuunnitelma ja pelastautumisohjeet
2. Kellukkeiden mitoitus, suunnittelu, ja testaus
  - a. Kellukkeiden toteutuksen/valmistustekniikan valinta
    - i. Cipax Oy muovista valmistettujen kellukkeiden ja muovituotteiden valmistustekniikoiden koordinaattorina. Cipax Oy:llä yhteyshenkilönä Tuomas Rasinaho
    - ii. Eurofins Expert Services Oy:llä on lujitemuovirakenteiden kestävyysarviointiin ja suunnitteluun, sekä traktorin testaukseen tarvittavaa osaamista ja valmiuksia:
      1. Eurofins Expert Services Oy tekee traktorien testausta ja tyyppihyväksyntää Vihdissä (yhteyshenkilö Matti Serenius)
      2. Veneiden ja muiden kelluvien kappaleiden kelluntaa, vakavuutta ja lujuutta lasketaan ja mitataan Otaniemessä (Max Johansson)
      3. Lujitemuovirakenteiden lujuutta ja jäykkyyttä lasketaan ja testataan Otaniemessä (Perttu Hintikka ja Markku Hentinen)
    - iii. Kellukkeiden valmistaja voidaan ottaa tarkemmin mukaan suunnitteluun, kun soveltuva valmistustekniikka on valittu
  - b. Vakavuustarkastelut (simulointi)
    - i. Voidaan varioida kellukkeiden sijoittelua ja eri skenaarioita jäihin putoamis -tilanteessa (vapaassa vedessä). Yhteyshenkilöinä VTT:llä Ilkka Perälä ja Jussi Martio
  - c. Allaskokeet
    - i. VTT:llä voidaan tehdä suuren mittakaavan kelluvuuskokeita ja mittauksia. Yhteyshenkilönä VTT:llä Ilkka Perälä
  - d. Kelluvuuskokeissa ja mittauksissa kokonaisuus voidaan tehdä yhteistyössä VTT:n ja Eurofins Expert Services Oy:n valmiuksia yhdistellen
3. Tukirakenteiden ja liitosten suunnittelu ja mitoitus
  - a. Tukirakenteiden suunnittelu ja mitoitus
    - i. Käytettävissä olevan tilan ja kiinnityskohteiden määrittely laser tai optisella skannauksella (takaisinmallinnus, re-engineering) varustelu suunnittelun lähtökohdaksi
    - ii. Valutekninen suunnittelu ja valut / valujen hankinta / Hetitec Oy
    - iii. Elomatic Oy:llä on taustaa laiva- sekä kevytrakennesovelluksissa. Lisätietoja <https://www.elomatic.com/en/>



- iv. Yhteistyössä Elomatic Oy, VTT, Hetitec Oy, Cipax Oy, Eurofins Expert Services Oy
- b. Liitosten suunnittelu ja mitoitus
- c. Rakenteiden optimointi painon minimoimiseksi
- d. Väsymismitoitus
- e. Lujuusmitoitus (äärilujuus)
- f. Valmistuspiirustukset
- g. Vaatimusten ja laadunvarmistuksen määrittely valmistusta varten
4. Valmistus
5. Laadunvarmistus
6. Kokoonpano ja asennus
7. Toimivuuden ja kestävyuden arviointi kokeellisesti
  - a. Allaskoe
    - i. Simuloinnilla arvioitujen mitoituskuormien verifiointi kokeellisesti
    - ii. Kuormitukset venymäliuska-instrumentoinnilla
    - iii. Dynamiikka kiihtyvyyssantureilla (esim. varustellun ajoneuvon pudotus kattokraanalla eri korkeuksista (kuitenkin lähellä kelluvan tilanteen tasapainopistettä)
  - b. Kenttämittaus ja jäihin ajo (venymäliuskoja, kiihtyvyyssantureita, GPS, ...)
    - i. Ajonaikaiset ja normaalin käytön aikaiset kuormat
    - ii. Jään paksuuden mittaus ja jään kantavuuden arviointi ennen jäihin ajoa
    - iii. Pelastautumissuunnitelma ja turvallisuuden varmistaminen
    - iv. Onnettomuustilanteet
      1. Jäihin putoaminen
      2. Törmäyskestävyys
8. Raportointi
9. Hyväksynät
  - a. Mahdollisesti tarvittavat viranomaishyväksynät
  - b. Eurofins Expert Services Oy tekee traktorien testausta ja tyyppihyväksyntää Vihdissä (yhteyshenkilö Matti Serenius).

## Lähdeviitteet

---

- [1] Työ- ja asiakasturvallisuus luonnon jääolosuhteissa: Riskienarviointi- ja päätöksentekoprosessien tarkastelu, Tero Välisalo Jaana Keränen, VTT-CR-01171-18, Tampere, 6.3.2018.
- [2] Työ- ja asiakasturvallisuus luonnon jääolosuhteissa: Parhaat käytännöt, Tero Välisalo Jaana Keränen, VTT-R-01705-18, Tampere, 3.4.2018.
- [3] Käyttöohjekirja Kubota traktorit L4240 HST L5240 HST L5740 HST, Konekesko Oy.
- [4] <http://www.henshaw.co.uk/ribs/39-how-does-it-work>